



TESIS - SF 142502

**KARAKTERISASI HAMBURAN BUNYI DIFUSER
ECENG GONDOK (*Eichhornia Crassipes*)
DENGAN STRUKTUR BERBEDA**

SOFIAN HANAFI HARAHAHAP
NRP 1114201025

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF 142502

CHARACTERIZATION ON SOUND SCATTERING OF WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*) DIFFUSERS WITH DIFFERENT STRUCTURES

SOFIAN HANAFI HARAHAH
NRP 1114 201 025

SUPERVISOR
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

MAGISTER'S DEGREE
PHYSICS DEPARTEMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Sofian Hanafi Harahap

Nrp. 1114201025

Tanggal Ujian : 23 Juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Melania Suweni Muntini, MT
NIP: 19641229 199002 2 001

(Pembimbing)

(.....)

2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc

(Penguji)

(.....)

3. Prof. Dr. Darminto, M.Sc
NIP: 19600303 198701 1 002

(Penguji)

(.....)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

KARAKTERISASI HAMBURAN BUNYI DIFUSER ECENG GONDOK (*Eichhornia Crassipes*) DENGAN STRUKTUR BERBEDA

Nama Mahasiswa : Sofian Hanafi Harahap
NRP : 1114201025
Dosen Pembimbing : Dr. Melania Suweni Muntini, MT

ABSTRAK

Eceng Gondok merupakan bahan ramah lingkungan dan ekonomis yang dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan difuser. Karakteristik Eceng Gondok yang memiliki kandungan serat yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk pembuatan panel difuser. Difuser sangat penting dalam desain interior akustik yang dapat meningkatkan kualitas distribusi energi bunyi pada ruangan. Makalah ini menyajikan penelitian koefisien hamburan difuser Eceng Gondok dengan struktur berbeda pada ruang dengung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua struktur difuser memberikan efek hamburan baik pada rentang frekuensi (250-1000 Hz), tetapi tidak dapat memberikan hamburan dengan baik pada rentang frekuensi (2000-4000Hz) ketika diffuser tegak lurus ke sumber suara. Rectangular diffuser memiliki sifat hamburan yang paling baik dibandingkan dengan sawtooth dan triangle diffusers, sementara triangle diffuser masih lebih baik daripada sawtooth diffuser.

Kata kunci : Eceng Gondok, *Eichhornia Crassipes*, Koefisien Hamburan, Metode Ruang Dengung.

CHARACTERIZATION ON SOUND SCATTERING OF WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*) DIFFUSERS WITH DIFFERENT STRUCTURES

Name : Sofian Hanafi Harahap
NRP : 1114201025
Supervisor : Dr. Melania Suweni Muntini, MT

ABSTRACT

Water Hyacinth is an economical and eco friendly material that can be used as a diffuser. Characteristics of water hyacinth which has high fiber content can be utilized to produce diffuser panel. Diffuser is very important in the design of the interior acoustics that can improve the quality of the distribution of sound energy in the room. This paper presents investigation on the measurement scattering coefficient of water hyacinth diffusers with different structures in a reverberation chamber. The results showed that all structure diffusers provide good scattering effects at frequency range (250-1000 Hz), but can not provide good scattering at frequency range (2000-4000Hz) when the diffuser perpendicular to the sound source. Rectangular diffuser had the most excellent scattering properties compared with sawtooth and triangle diffuser, while triangle diffuser was better than sawtooth diffuser.

Keywords : Water Hyacinth, *Eichhornia Crassipes*, Scattering Coefficient, Reverberation Chamber Method.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | i |
| ABSTRAK..... | ii |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 Material Akustik | 5 |
| 2.2 Peristiwa Akustik dalam Ruangan..... | 6 |
| 2.2.1 Refleksi..... | 11 |
| 2.2.2 Absorpsi..... | 12 |
| 2.2.3 Difusi | 13 |
| 2.3 Persamaan Gelombang Akustik..... | 13 |
| 2.4. Aplikasi Difuser..... | 16 |
| 2.5 Jenis Difuser | 17 |
| 2.5.1 Maximum Length Sequences Diffuser | 18 |
| 2.5.2 Quadratic Residue Diffuser. | 19 |
| 2.6 Koefisien Hamburan..... | 20 |
| 2.7 Eceng Gondok | 22 |
| 2.7.1 Kandungan Eceng Gondok..... | 24 |
| 2.7.2 Karakteristik Eceng Gondok..... | 24 |
| 2.7.3 Manfaat Eceng Gondok | 25 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODA PENELITIAN..... | 27 |
| 3.1 Tahap-tahap Penelitian | 27 |
| 3.2 Pengenalan Alat..... | 31 |
| 3.3 Studi Literatur | 32 |
| 3.4 Rancangan Difuser dalam Penelitian | 32 |
| 3.5 Pengaturan Pengujian | 33 |
| 3.6 Perhitungan Koefisien Hamburan | 34 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 37 |
| 4.1 Spesifikasi Pengukuran | 37 |
| 4.2 Data Pengukuran Waktu Dengung | 38 |
| 4.3 Perhitungan Koefisien Hamburan | 39 |
| 4.4 Pembahasan | 45 |
| 4.4.1 Efek Perbedaan Bentuk difuser | 46 |
| 4.4.2 Efek Perbedaan Sudut Pengukuran | 46 |
| 4.4.3 Efek Perbedaan Bahan Difuser | 47 |
| 4.4.4 Efek Tepi (Edge Effect) | 47 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 49 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 49 |
| 5.2 Saran..... | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
| LAMPIRAN..... | 53 |
| BIODATA PENULIS..... | 67 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Model Struktur Geometri Difuser | 5 |
| Gambar 2.2 | Perilaku Gelombang Bunyi dalam Ruang Tertutup: (1) bunyi datang atau bunyi langsung; (2) bunyi pantul; (3) bunyi yang diserap oleh lapisan permukaan; (4) bunyi difus atau bunyi yang disebar | 6 |
| Gambar 2.3 | Gelombang Longitudinal pada Pegas yang Diregangkan | 7 |
| Gambar 2.4 | Pemantulan pada Bidang Batas Cembung, Datar, dan Cekung | 12 |
| Gambar 2.5 | Arah Rambat dari Gangguan Tekanan..... | 16 |
| Gambar 2.6 | Difuser Schroeder pada Dinding Belakang Auditorium Carnegie, New York | 17 |
| Gambar 2.7 | Sebuah Penampang Difuser Maximum Length Sequence dengan Periode $N=7$ | 18 |
| Gambar 2.8 | Penampang Difuser Quadratic Residue dengan Periode $N=7$ | 19 |
| Gambar 2.9 | Quadratic Residue Diffuser: (a) Satu Dimensi; (b) Dua Dimensi | 19 |
| Gambar 2.10 | Hamburan pada Permukaan Kasar..... | 20 |
| Gambar 2.11 | Eceng Gondok..... | 23 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Metodologi Penelitian | 27 |
| Gambar 3.2 | Diagram Alir Pengambilan Sampai Pengeringan Eceng Gondok | 28 |
| Gambar 3.3 | Foto Proses Pengambilan dan Pengeringan Eceng Gondok | 29 |
| Gambar 3.4 | Proses Mendapatkan Eceng Gondok Siap untuk Dicetak | 29 |
| Gambar 3.5 | Diagram Alir Pembuatan Material Difuser..... | 30 |
| Gambar 3.6 | Skema Peralatan untuk Mengukur Koefisien Hamburan..... | 31 |
| Gambar 3.7 | Material Difuser: (a) Rectangular; (b) Sawtooth; (c) Triangle | 33 |
| Gambar 3.8 | Pengaturan Peralatan dan Bahan Uji pada Pengukuran | 34 |
| Gambar 4.1 | Difuser Tampak Sampling: (a) Rectangular; (b) Sawtooth; (c) Triangle..... | 38 |
| Gambar 4.2 | Difuser Kerang Darah (<i>Anadara Granosa</i>) | 38 |
| Gambar 4.3 | Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 0° | 41 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 4.4 | Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 30° | 42 |
| Gambar 4.5 | Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 60° | 42 |
| Gambar 4.6 | Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Sudut Pengukuran Rectangular Diffuser | 43 |
| Gambar 4.7 | Waktu dengung (T_2) pada Sudut 0 derajat | 44 |
| Gambar 4.8 | Waktu Dengung T_2 , Rectangular Diffuser pada Sudut 0° : (a) Pola Waktu Dengung (biru), dan Peluruhan Energi (merah); (b) Impulse Response | 44 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Kandungan Kimia Serat Eceng Gondok..... | 24 |
| Tabel 2.2 | Karakteristik Eceng Gondok..... | 24 |
| Tabel 3.1 | Kadar air Eceng Gondok setelah Pengeringan..... | 29 |
| Tabel 4.1 | Data Waktu Dengung untuk Frekuensi 4000 Hz..... | 39 |
| Tabel 4.2 | Hasil Perhitungan Koefisien Hamburan | 40 |
| Tabel 4.3 | Koefisien Hamburan Difuser Kerang Darah | 41 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan musik terutama di daerah perkotaan, banyak ruangan musik yang belum memenuhi standar akustik. Dalam ruangan musik seringkali terjadi gema dan penonjolan bunyi pada frekuensi-frekuensi tertentu. Fenomena seperti itu disebut *coloration* atau pewarnaan bunyi (Cox dan D'Antonio, 2009; Jeon dkk., 2012). Terjadinya gema dan *coloration* dalam ruangan tentu saja akan sangat mengganggu terutama ketika ruangan tersebut digunakan sebagai home teater. Adanya gema dalam ruangan musik atau home teater akan mengurangi kualitas bunyi dan tentu mengurangi rasa kenyamanan.

Gema dan *coloration* dapat diredam dengan menambahkan bahan peredam dan penyerap suara yang dipasang pada dinding atau plafon. Bahan penyerap suara tersebut dinamakan absorber. Namun pemasangan absorber akan menimbulkan permasalahan baru, yaitu bunyi akan diserap sehingga bunyi yang diinginkan akan hilang. Dalam hal ini, diperkenalkan difuser untuk mengatasi masalah di atas.

Ketersediaan Eceng Gondok di alam yang melimpah dan termasuk tumbuhan yang sangat mudah dibudidayakan dapat dimanfaatkan untuk bahan difuser yang ramah lingkungan dan ekonomis. Kandungan serat selulosa yang tinggi dalam Eceng Gondok dapat dimanfaatkan untuk bahan dasar difuser. Penelitian sebelumnya telah berhasil memperbaiki kualitas akustik memanfaatkan Eceng Gondok sebagai panel akustik (Wijayanti, 2015). Diharapkan difuser yang dirancang ini dapat diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan di atas. Difuser merupakan suatu bidang permukaan yang dibuat tidak merata yang akan menyebarkan bunyi yang datang kepadanya. Dengan menambahkan difuser, diharapkan dalam ruangan tidak terjadi gema dan *coloration*.

Shen dkk. telah menggunakan kayu dan bambu sebagai bahan dasar difuser dalam penelitiannya. Hasilnya menunjukkan bahwa material uji yang digunakan hanya efektif pada frekuensi menengah sampai frekuensi tinggi (500-

3.15kHz)(Shen dkk., 2011). Jeon dkk. menggunakan *Glass Fiber Reinforced Concrete* (GFRC) sebagai bahan dasar difuser untuk memperbaiki kualitas suara pada aula dan teater. Dengan pemasangan difuser, diperoleh hasil distribusi spasial energi bunyi meningkat pada kedua ruangan(Jeon dkk., 2012). Lin dkk. juga telah melakukan penelitian tentang kinerja hamburan bunyi difuser kayu dengan struktur berbeda. Hasil eksperimennya menunjukkan bahwa koefisien hamburan bunyi dapat ditingkatkan dengan memasang flutter pada struktur diffuser(Lin dkk., 2010). Penelitian sebelumnya juga telah berhasil mengungkap pola hamburan difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) dua dimensi dari bubuk kertas dan kayu. Hasilnya pola hamburan difuser bubuk kertas lebih merata dibanding pola hamburan difuser kayu(Zakri, 2015).

Dalam penelitian ini akan dianalisis performansi difuser berbahan Eceng Gondok dengan struktur berbeda dilihat dari koefisien hamburannya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengukur koefisien hamburan difuser. Dengan demikian dapat diangkat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) dua dimensi berbahan Eceng Gondok.
2. Bagaimana mengukur koefisien hamburan difuser.
3. Bagaimana hubungan antara koefisien hamburan dengan frekuensi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Difuser yang dibuat adalah difuser MLS (*Maximum Length Sequence*) dua dimensi.
2. Bahan difuser terbuat dari Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)
3. Ruang uji yang digunakan adalah ruang dengung laboratorium akustik Jurusan Fisika FMIPA ITS.
4. Koefisien hamburan diamati pada frekuensi 1 pita oktaf(125Hz-4kHz).

5. *Software* yang digunakan adalah *Software YMEC (Yoshimasa Electronic)*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh koefisien hamburan difuser.
2. Memperoleh hubungan antara koefisien hamburan dengan frekuensi.
3. Memperoleh hubungan antara koefisien hamburan dengan sudut pengukuran.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan metode yang dapat digunakan untuk menilai performansi difuser. Dalam hal ini dilakukan metode ruang dengung untuk pengukuran koefisien hamburan difuser.
2. Mengetahui koefisien hamburan difuser pada frekuensi tertentu untuk dapat digunakan pada suatu ruangan sesuai fungsinya.

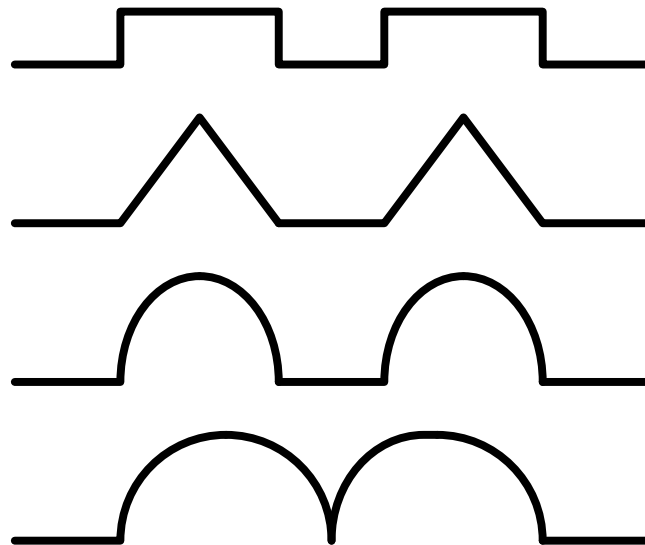
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TOERI

2.1 Material Akustik

Salah satu masalah yang paling menantang yang dihadapi *Acoustician* ketika merancang sebuah ruangan pertunjukan musik, studio, auditorium, teater dan lain-lain adalah memprediksi kualitas bunyi secara keseluruhan (Lin dkk., 2010). Salah satu material akustik yang berperan sangat penting dalam menjaga kualitas bunyi dalam ruangan adalah difuser. Difuser merupakan material akustik padat, keras dan mempunyai bentuk permukaan yang tidak rata, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Gelombang bunyi yang mengenai difuser akan disebarakan secara acak.. Dalam pemakaiannya difuser dapat dilekatkan pada langit-langit ruang tetapi lebih sering dipasang pada dinding.

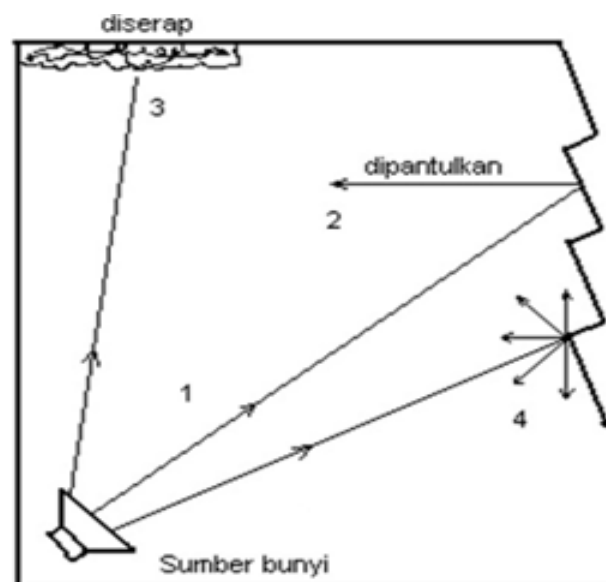


Gambar 2.1 Model Struktur Geometri Difuser (Indrawati, 2011).

Difuser digunakan untuk memperbaiki kualitas bunyi dalam ruang seperti pewarnaan bunyi, silau akustik, *flutter-echo* (Jeon dkk., 2012). Difuser adalah alternatif yang sangat baik untuk menyebarkan bunyi ke segala arah secara merata tanpa menghilangkan energi bunyi, dan dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan kualitas bunyi.

2.2 Peristiwa Akustik dalam Ruangan

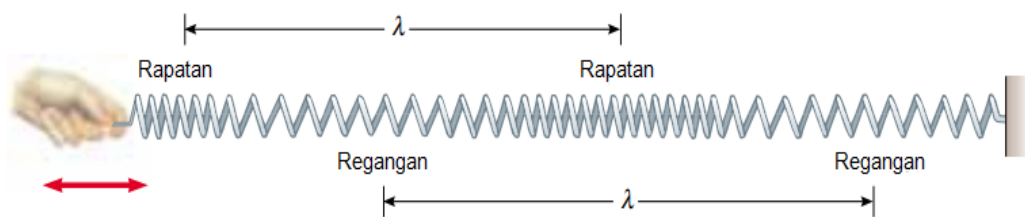
Mempelajari perilaku gelombang bunyi dalam suatu ruang dapat disederhanakan bila lapisan-lapisan perapatan dan peregangan yang memancar ke luar diganti oleh sinar bunyi khayal, yang tegak lurus pada permukaan gelombang yang bergerak maju. Sinar ini merambat dalam garis-garis lurus pada tiap arah di dalam ruang, seperti halnya berkas cahaya dalam optika. Pendekatan semacam ini dalam akustik arsitektur disebut akustik geometrik. Bila gelombang bunyi tiba pada dinding suatu ruang, maka dapat terjadi beberapa peristiwa, seperti penyerapan, pemantulan, penyebaran, pembelokan, atau ditransmisikan ke ruang yang berdampingan tergantung sifat akustik dindingnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perilaku Gelombang Bunyi dalam Ruang Tertutup: (1) bunyi datang atau bunyi langsung; (2) bunyi pantul; (3) bunyi yang diserap oleh lapisan permukaan; (4) bunyi difus atau bunyi yang disebar(Doelle dan Prasetyo, 1985).

Gelombang merupakan getaran yang merambat. Berdasarkan medium perambatannya gelombang diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang memerlukan suatu medium untuk merambat. Contoh gelombang mekanik antara lain adalah gelombang pada massa pegas, gelombang pada tali, dan gelombang akustik (bunyi). Gelombang mekanik terdiri dari dua jenis yaitu

gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal adalah suatu gelombang yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah perambatan gelombang. Gelombang longitudinal adalah suatu gelombang yang merambat dalam arah yang sejajar dengan arah rambatan gelombang. Gelombang longitudinal berupa rapatan dan regangan. Gelombang akustik merupakan gelombang mekanik longitudinal yang terjadi karena adanya rapatan dan regangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Gelombang Longitudinal pada Pegas yang Diregangkan(Halliday dkk., 2007).

Medium yang bisa digunakan untuk perambatan bunyi bisa berwujud gas, cair, dan padat. Gelombang bunyi dalam medium tersebut berupa gelombang longitudinal. Kecepatan rambat bunyi pada setiap medium berbeda tergantung dari jenis mediumnya. Untuk di udara, bunyi dapat merambat dengan kecepatan 340 m/s. Semakin besar kerapatan medium maka semakin tinggi kecepatan merambatnya.

Gelombang berjalan (merambat) memiliki kecepatan, frekuensi, periode, panjang gelombang, dan waktu tempuh. Frekuensi menyatakan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu detik. Satuan dari frekuensi adalah Hertz (Hz). 1 Hertz sama dengan 1 siklus per detik atau satu gelombang sempurna dalam satu detik. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk membentuk satu gelombang sempurna, satuannya dalam detik. Periode ditentukan oleh sumber suara dan berbanding terbalik dengan frekuensi, periode akan meningkat atau bertambah bila frekuensi menurun.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

Dimana :

T = Periode gelombang (detik)

f = frekuensi (Hz)

Panjang gelombang menyatakan jarak satu siklus gelombang (jarak satu buah gelombang sempurna) dengan satuan meter. Jika pada gelombang transversal panjang gelombang berupa jarak dari suatu titik puncak ke puncak berikutnya (dari suatu lembah ke lembah berikutnya), namun pada gelombang longitudinal, panjang gelombang ialah jarak antara rapatan yang berurutan atau renggangan yang berurutan. Besarnya panjang gelombang dipengaruhi oleh cepat rambat gelombang pada medium dan frekuensi.

Cepat rambat gelombang adalah kecepatan gelombang suara ketika berjalan menembus medium. Kecepatannya dipengaruhi oleh sifat dan kerapatan medium yang dilaluinya dan dinyatakan dalam meter per detik (m/detik). Pada medium yang sama cepat rambat gelombang akan sama walaupun frekuensinya berbeda.

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.2)$$

Dimana:

v = cepat rambat gelombang (m/s)

s = jarak (m), dan

t = waktu (detik).

Namun, karena kita bicara dalam konteks gelombang, maka s akan digantikan dengan jarak tempuh gelombang (λ) dan t digantikan dengan periode (T), sehingga persamaan tersebut menjadi

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.3)$$

Dimana:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

$$V = \lambda f \quad (2.5)$$

v = cepat rambat gelombang (m/s)

λ = panjang gelombang (m), dan

f = frekuensi gelombang (Hz)

Simpangan gelombang diberikan oleh :

$$y = \pm A \sin(\omega t \pm kx) \quad (2.6)$$

A (+); awal getar ke atas

A (-); awal getar ke bawah

($\omega t + kx$); arah rambat ke kiri

($\omega t - kx$); arah rambat ke kanan

$$\omega = 2\pi f \quad (2.7)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.8)$$

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (2.9)$$

Bentuk lain persamaan gelombang (Halliday dkk., 2007);

$$y = \pm A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x \pm vt) \right] \quad (2.10)$$

Cepat rambat bunyi pada berbagai medium perantara berbeda-beda. Cepat rambat bunyi tergantung pada modulus elastisitas dan kerapatan material, jika modulus elastisitasnya lebih besar, bunyi merambat dengan kecepatan yang cukup tinggi. Cepat rambat bunyi dalam zat padat tergantung pada modulus Young dan massa jenis zat padat.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.11)$$

Dimana:

E = modulus Young (N/m²)

ρ = massa jenis (kg/m³)

Cepat rambat bunyi dalam gas tergantung pada suhu dan jenis gas.

$$v = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M_r}} \quad (2.12)$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (2.13)$$

Dimana :

γ = konstanta Laplace

R = konstanta umum gas = 8,31 J/ mol K

M_r = massa molekul relatif gas

T = suhu gas (K)

v = cepat rambat bunyi (m/s)

Pada gas, cepat rambat bunyi sangat bergantung pada temperatur. Dalam medium udara, cepat rambat bunyi tidak tergantung pada tekanan udara, artinya jika terjadi perubahan tekanan udara, cepat rambat bunyi tidak akan berubah, dan cepat rambat bunyi bergantung pada suhu. Makin tinggi suhu udara, makin besar cepat rambat bunyi.

Cepat rambat bunyi dalam zat cair tergantung pada modulus Bulk dan massa jenis zat cair.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.14)$$

Dimana :

v = cepat rambat bunyi (m/s)

B = modulus Bulk (N/m^2)

ρ = massa jenis zat (kg/m^3)

Menurut rentang frekuensinya dan juga keterdengarannya oleh manusia bunyi bisa dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Gelombang Bunyi Infrasonik

Gelombang bunyi ini punya frekuensi maksimal 20 Hertz. Karena frekuensinya yang kecil (bunyi terlalu pelan) manusia tidak dapat mendengarnya. Bunyi ini hanya bisa didengar oleh binatang tertentu seperti anjing dan beberapa jenis serangga seperti jangkrik.

2. Gelombang Bunyi Audiosonik

Gelombang ini punya frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz. Pada rentang frekuensi inilah bunyi dapat terdengar oleh telinga manusia normal.

3. Gelombang Bunyi Ultrasonik

Gelombang ini punya frekuensi yang sangat tinggi yaitu di atas 20.000 Hz. Karena terlalu tinggi gelombang ultrasonik tidak dapat didengar oleh telinga manusia tapi bisa didengar oleh hewan seperti lumba-lumba dan kelelawar. Gelombang ultrasonik punya banyak manfaat seperti untuk keperluan USG,

mengukur kedalaman laut, menemukan sumber bahan bakar fosil baru, mendeteksi kerusakan pada logam, dan sebagainya.

Intensitas gelombang adalah sebuah besaran yang menyatakan besar energi yang dipindahkan oleh sebuah gelombang. Intensitas gelombang (I) diartikan sebagai daya gelombang (P) yang dipindahkan persatuan luas bidang yang ditembus dengan arah tegak lurus oleh gelombang tersebut. Secara Matematis dirumuskan:

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.15)$$

Dimana:

I = Intensitas gelombang (watt/m²)

P = daya gelombang (watt)

A = luas bidang yang ditembus gelombang (m²)

Pada gelombang bunyi yang memancar dari sebuah sumber bunyi, bentuk bidang yang ditembus oleh gelombang seperti bola. Intensitas gelombang yang sampai pada bidang permukaan dalam bola yang mempunyai jari-jari r dirumuskan:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.16)$$

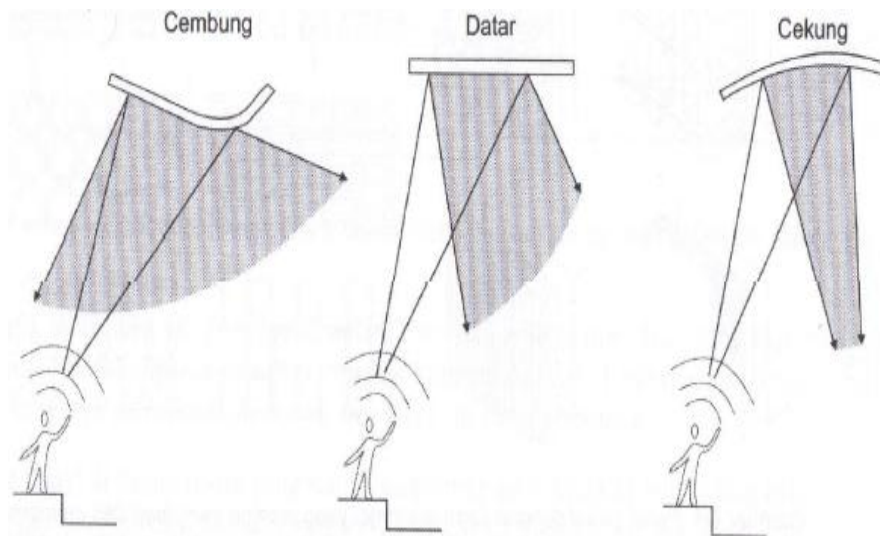
Karena r juga merupakan jarak antara sumber bunyi dari suatu titik, jadi dapat ditarik hubungan: intensitas gelombang bunyi pada suatu titik berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari sumber bunyi. Dengan demikian perbandingan antara dua intensitas gelombang bunyi yang berada sejauh r_1 dan r_2 dari sumber bunyi dirumuskan (Halliday dkk., 2007):

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \quad (2.17)$$

2.2.1 Refleksi

Refleksi atau pemantulan bunyi oleh suatu benda penghalang atau bidang batas disebabkan oleh karakteristik benda penghalang yang memungkinkan terjadinya pemantulan. Semakin keras, licin dan homogen suatu benda penghalang, maka tingkat pemantulan yang dihasilkan akan semakin besar (Mediastika, 2005). Permukaan bidang batas cembung cenderung

menyebarkan gelombang bunyi pantul, permukaan bidang batas cekung cenderung memusatkan gelombang bunyi pantul, permukaan bidang batas yang datar akan memantulkan gelombang bunyi secara merata dalam ruang (Doelle dan Prasetyo, 1985; Mediastika, 2005). Gambar 2.4 menunjukkan fenomena pemantulan berdasarkan bentuk bidang batasnya.



Gambar 2.4 Pemantulan pada Bidang Batas Cembung, Datar, dan Cekung (Mediastika, 2005).

2.2.2 Absorpsi

Penyerapan bunyi adalah perubahan energi bunyi menjadi energi panas ketika melewati suatu bidang batas. Banyak atau sedikit energi bunyi yang diserap bidang batas sangat bergantung pada kerapatan atau kepadatan material dan frekuensi bunyi yang tiba pada permukaan. Semua material menyerap bunyi sampai batas tertentu (Doelle dan Prasetyo, 1985). Penyerapan bunyi oleh material bidang batas sangat bermanfaat untuk mengurangi tingkat kekuatan bunyi yang terjadi, sehingga dapat mengurangi kebisingan di dalam ruangan, dan sekaligus untuk mengontrol waktu dengung (*reverberation time*). Tingkat penyerapan suatu material ditentukan oleh koefisien penyerapan material tersebut yang menyatakan banyaknya energi bunyi yang diserap dibandingkan energi bunyi total yang tiba di permukaan (Cox dan D'Antonio, 2009; Mediastika, 2005).

$$\text{koefisien absorpsi } (\alpha) = \frac{\text{Jumlah bunyi yang diserap}}{\text{Total energi bunyi datang}} \quad (2.18)$$

2.2.3 Difusi

Difusi adalah peristiwa terjadinya pemantulan yang menyebar, karena gelombang bunyi menerpa permukaan yang tidak rata. Hal ini dipakai untuk menyebarkan gelombang bunyi secara merata. Pemantulan yang menimbulkan difusi disebut *difuser* atau *difusor*. Difuser yang baik akan menyebarkan gelombang bunyi yang datang secara merata pada area dengan jangkauan sebesar 180° di depannya (Mediastika, 2009).

Salah satu solusi akustik yang terbaik adalah meletakkan panel difuser pada bidang batas. Pantulan suara dari lantai mudah untuk diatasi dengan meletakkan karpet. Bila tekanan bunyi di setiap bagian suatu ruangan sama dan gelombang bunyi dapat merambat ke semua arah, maka medan bunyi dikatakan serba sama atau *homogen*. Difusi bunyi yang merata adalah ciri akustik yang diperlukan pada ruangan tertentu seperti; ruang konser, studio radio dan rekaman, dan ruang-ruang musik lainnya. Ruangan musik membutuhkan distribusi bunyi yang merata, sehingga tidak terjadi cacat akustik dan kualitas musik dan pembicaraan aslinya dapat dicapai (Doelle dan Prasetyo, 1985).

2.3 Persamaan Gelombang Akustik

Persamaan gelombang akustik mengatur propagasi gelombang akustik melalui media bahan. Bentuk persamaan adalah persamaan diferensial parsial urutan kedua. Persamaan menggambarkan evolusi tekanan akustik P atau kecepatan partikel U sebagai fungsi posisi x dan waktu t . Suatu bentuk sederhana dari persamaan menggambarkan gelombang akustik dalam satu dimensi. Persamaan gelombang akustik adalah referensi yang penting dalam pengembangan persamaan gelombang elektromagnetik. Persamaan gelombang yang menggambarkan perilaku suara dalam materi dalam satu dimensi (Kuttruff, 2007):

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.19)$$

Dimana p adalah tekanan akustik, dan c adalah kecepatan suara. Solusi umum persamaan di atas adalah:

$$p(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct) \quad (2.20)$$

Dimana f dan g adalah dua fungsi terdiferensialkan dua kali. Hal ini dapat digambarkan sebagai superposisi dari dua gelombang, fungsi f merambat ke sumbu x dan fungsi g turun ke sumbu x pada kecepatan c . Kasus tertentu dari gelombang sinusoidal merambat dalam satu arah diperoleh dengan memilih baik f atau g menjadi sinusoidal, dan yang lainnya menjadi nol, sehingga:

$$p = p_0 \sin(\omega t \pm kx) \quad (2.21)$$

Udara dapat dianggap sebagai gas ideal, maka persamaan keadaan (hukum gas ideal) adalah:

$$PV = nRT \quad (2.22)$$

Dalam proses adiabatik, tekanan P sebagai fungsi kepadatan ρ dapat linierisasi untuk:

$$P = C\rho \quad (2.23)$$

dan

$$C = \frac{\partial P}{\partial \rho} \quad (2.24)$$

di mana C adalah konstan.

$$P - P_0 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right) (\rho - \rho_0) \quad (2.25)$$

Modulus bulk adiabatik untuk fluida didefinisikan sebagai:

$$B = \rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_{adiabatik} \quad (2.26)$$

Dan memberikan hasil:

$$P - P_0 = B \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (2.27)$$

Kondensasi, s , didefinisikan sebagai perubahan kepadatan dalam densitas fluida sekitar.

$$s = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (2.28)$$

Persamaan keadaan linier menjadi:

$$p = Bs \quad (2.29)$$

Dimana p adalah tekanan akustik ($P - P_0$). Persamaan kontinuitas (kekekalan massa) dalam satu dimensi adalah:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0 \quad (2.30)$$

Di mana u adalah kecepatan aliran fluida. Sekali lagi persamaan harus linierisasi dan variabel dibagi menjadi rata dan komponen variabel.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_0 + \rho_0 s) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_0 u + \rho_0 s u) = 0 \quad (2.31)$$

Mengingat bahwa kepadatan sekitar tidak berubah dengan waktu atau posisi dan kondensasi dikalikan dengan kecepatan adalah jumlah yang sangat kecil, maka:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2.32)$$

Persamaan gaya Euler (konservasi momentum) adalah komponen terakhir yang dibutuhkan. Dalam satu dimensi persamaannya adalah:

$$\rho \frac{Du}{Dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (2.33)$$

di mana D/Dt menunjukkan turunan materi dalam waktu. Linierisasi variabel:

$$(\rho_0 + \rho_0 s) \left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} \right) u + \frac{\partial}{\partial x} (P_0 + p) = 0 \quad (2.34)$$

Persamaan yang dihasilkan menjadi linier satu dimensi Persamaan Euler:

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2.35)$$

Mengambil turunan waktu dari persamaan kontinuitas dan turunan spasial dari hasil persamaan gaya:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = 0 \quad (2.36)$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (2.37)$$

Mengalikan pertama ρ_0 , mengurangi dua, dan menggantikannya dengan persamaan linier keadaan:

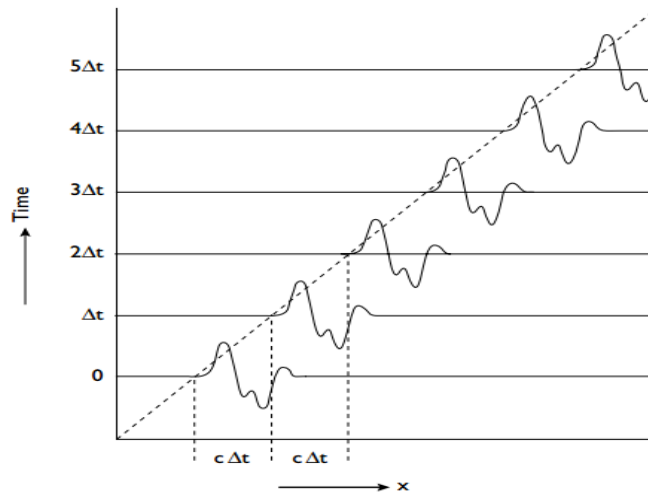
$$-\frac{\rho_0}{B} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (2.38)$$

Hasil akhir persamaan gelombang akustik(Kuttruff, 2007).

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (2.39)$$

Dimana $c = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$ adalah kecepatan rambat bunyi.

Solusi umum persamaan gelombang akustik di atas adalah Persamaan 2.20. Untuk menggambarkan arti dari solusi persamaan gelombang akustik, ditetapkan bahwa $p(x, t) = f(x - ct)$. Ungkapan ini menunjukkan bahwa gangguan awal yang diberikan oleh fungsi $f(x)$ pada waktu $t=0$ akan bergeser oleh jarak ct terhadap peningkatan x setelah t detik tanpa mengubah bentuknya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Arah Rambat dari Gangguan Tekanan(Kuttruff, 2007).

Hal ini jelas bahwa gangguan rambatan dengan kecepatan c dari kiri ke kanan. Karena gangguan tekanan gelombang akustik. Hasil yang sama berlaku untuk bagian kedua dari solusi persamaan gelombang akustik dengan perbedaan bahwa kombinasi $x + ct$ menunjukkan bahwa gangguan g merambat di arah yang berlawanan, yaitu, arah dari penurunan nilai x .

2.4 Aplikasi Difuser

Difuser seringkali diaplikasikan dalam sebuah auditorium, teater, ruang latihan musik, atau ruang orkestra. Pengaplikasian difuser tentu saja diharapkan dapat mencegah terjadinya permasalahan akustik dalam ruangan tersebut, seperti misalnya gema, pewarnaan bunyi, kejelasan kata, ataupun masalah-masalah lain yang terkait dengan bunyi dalam ruang(Cox dan D'Antonio, 2009).

Dalam ruang auditorium, latihan musik, teater seringkali menimbulkan ketidaknyamanan bagi yang berada di dalamnya. Umumnya ruang tersebut terbuat

dari kayu atau beton. Selain agar biayanya cukup rendah, diharapkan ruangan tersebut seolah-olah menjadi lebih lapang akibat adanya cermin pada dinding. Penggunaan permukaan beton dan cermin pada ruang dengan volume kecil menimbulkan mode frekuensi yaitu munculnya beberapa frekuensi yang menonjol. Keadaan inilah yang membuat ruang menjadi tidak nyaman sehingga diperlukan perbaikan. Untuk memperbaiki kondisi akustik ruang tersebut digunakanlah perangkat tambahan berupa difuser dan absorber(Ardhiansyah, 2011; Cox dan D'Antonio, 2009).

Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan pemasangan difuser schroeder dalam auditorium Carnegie di New York untuk mencegah gema.



Gambar 2.6 Difuser Schroeder pada Dinding Belakang Auditorium Carnegie, New York (Cox dan D'Antonio, 2009).

2.5 Jenis Difuser

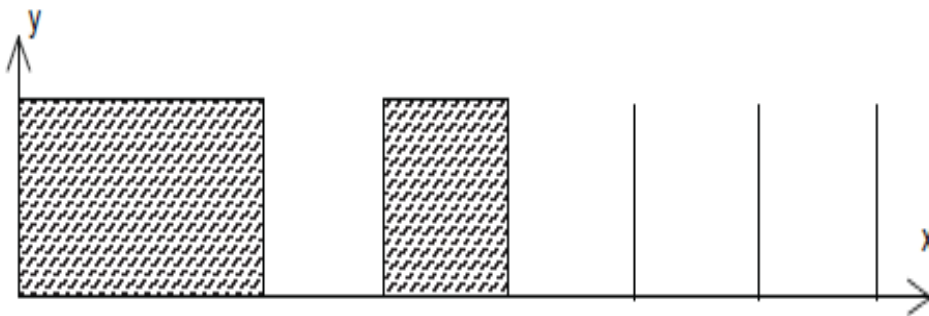
Difuser schroeder merupakan difuser yang di publikasikan oleh Manfred R. Schroeder dari Universitas Gottingen, Jerman dan Laboratorium AT&TBell di MurrayHill, NewJersey(Everest, 2001). Difuser Schroeder memiliki struktur yang terdiri dari serangkaian sumur dengan lebar yang sama dan kedalaman yang berbeda. Gelombang bunyi yang mengenai permukaan difuser yang tidak teratur, akan dipantulkan secara acak dari masing-masing sumur. Karena permukaan difuser yang tidak rata, maka jarak yang ditempuh tiap-tiap gelombang bunyi

berbeda. Dengan demikian dihasilkan pemantulan acak yang akan tersebar dalam ruang. Frekuensi di mana panel akan beroperasi dengan baik sebagai difuser tergantung pada dimensinya.

Bunyi yang mengenai permukaan difuser akan terpantul dari dasar sumur dan akhirnya terpantul kembali ke ruang. Dapat dianggap bahwa tidak ada kehilangan energi, karena semua bunyi yang datang akan dipantulkan kembali ke ruang. Semua gelombang bunyi yang terpantul ini memiliki jumlah energi yang sama tetapi fase yang berbeda karena perbedaan jarak yang ditempuh tiap gelombang bunyi yang mengenai bagian-bagian dari difuser berbeda-beda.

2.5.1 Maximum Length Sequences Diffuser

Schroeder memulai karyanya dengan meneliti *maximum length sequence* tipe 0010111, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Sebuah Penampang Difuser Maximum Length Sequence dengan Periode $N=7$ (Cox dan D'Antonio, 2009).

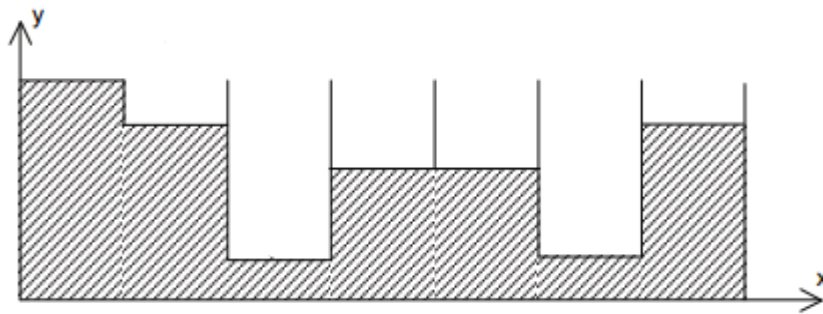
Schroeder memilih maximum length sequence karena memiliki kekuatan spektrum yang rata di semua frekuensi. Difuser ini terdiri dari permukaan dengan dua kedalaman yang berbeda yakni dengan kedalaman 0 dan 1. Angka satu (1) menunjukkan sebuah sumur, sedangkan angka nol (0) menunjukkan sebuah tonjolan.

Kombinasi nol (0) dan satu (1) akan membentuk satu modul difuser, kemudian tiap modul akan berulang secara periodik. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan sebuah difuser MLS satu dimensi dengan model 0010111. Difuser ini menggambarkan difuser dengan periodisitas $N=7$. Sayangnya difuser ini kurang efektif untuk digunakan karena *bandwidth* dari perangkat ini terbatas yakni

hanya satu oktaf di atas frekuensi desainnya. Untuk gelombang dengan frekuensi satu oktaf diluar frekuensi desainnya, maka difuser berperilaku seperti permukaan datar(Ardhiansyah, 2011).

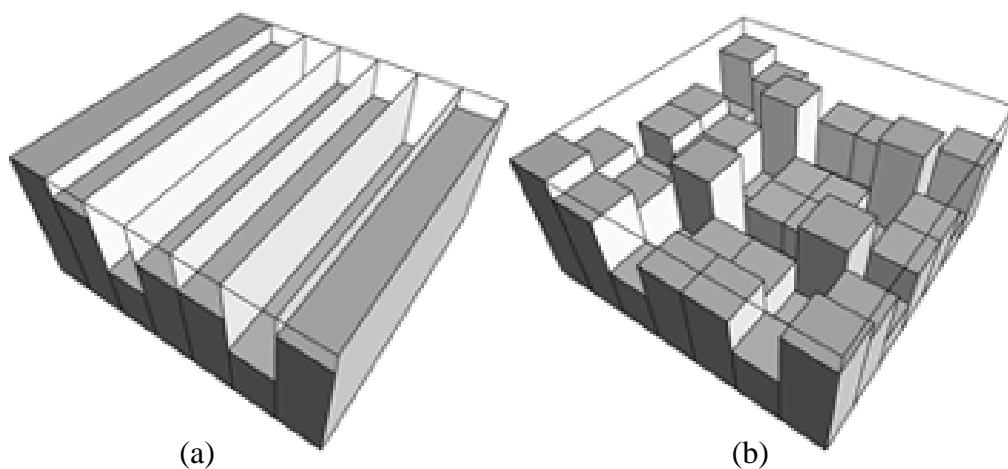
2.5.2 Quadratic Residue Diffuser

Difuser ini terdiri dari sumur dengan kedalaman berbeda yang dipisahkan oleh dinding tipis. Kedalaman maksimum sumur ditentukan oleh panjang gelombang terpanjang yang terdifusi. Lebar sumur yang baik sekitar setengah panjang gelombang pada panjang gelombang hamburan terpendek(Everest, 2001). Sebuah penampang *Quadratic Residue Diffuser* dengan $N=7$, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Penampang Difuser Quadratic Residue dengan Periode $N=7$ (Cox dan D'Antonio, 2009).

Quadratic Residue Diffuser juga memiliki dua tipe yaitu satu dimensi dan dua dimensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 di bawah ini.

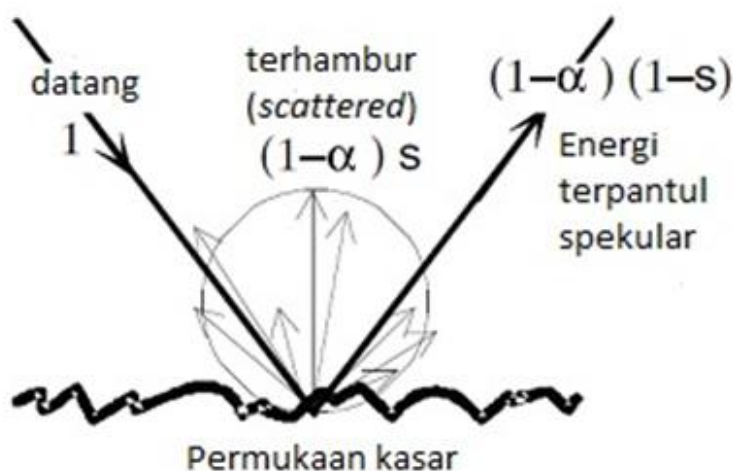


Gambar 2.9 Quadratic Residue Diffuser: (a) Satu Dimensi; (b) Dua Dimensi(Ardhiansyah, 2011).

Difuser satu dimensi menghamburkan bunyi hanya pada bidang yang tegak lurus dengan sumbu sedangkan difuser dua dimensi menghamburkan bunyi datang ke berbagai arah.

2.6 Koefisien Hamburan

Koefisien hamburan didefinisikan sebagai perbandingan antara energi terpantul spekular dan energi terpantul total (terhambur dan spekular)(Cox dan D'Antonio, 2009; Lee dan Sakuma, 2015). Prinsip koefisien hamburan adalah untuk memisahkan bunyi yang dipantulkan kedalam komponen spekular dan komponen terhambur (*scattered*). Komponen spekular adalah energi yang terpantul ketika bunyi mengenai permukaan datar yang ukurannya lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang datang yakni akan dipantulkan bunyi dengan sudut pantul sama dengan sudut datangnya. Komponen terhambur adalah energi terpantul ke arah yang tidak teratur(Cox dan D'Antonio, 2009). Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Hamburan pada Permukaan Kasar(Kosaka dan Sakuma, 2005; Lee dan Sakuma, 2015; Vorländer dan Mommertz, 2000).

Ketika gelombang bunyi mengenai suatu permukaan, gelombang bunyi tersebut akan diserap sebagian energinya oleh permukaan bergantung koefisien penyerapan bahannya. Energi yang tersisa akan dipantulkan (spekular dan terhambur). Besarnya energi bunyi yang dihamburkan bergantung pada besarnya koefisien hamburan. Permukaan kasar akan lebih menghamburkan bunyi daripada permukaan halus. Dari Gambar 2.10 tersebut dapat dilihat bahwa

$$E_{Datang} = E_{Serap} + E_{Pantul\ total} \quad (2.40)$$

dengan

E_{Datang} : jumlah total energi datang

E_{Serap} : energi yang diserap oleh permukaan

$E_{Pantul\ total}$: energi yang dipantulkan spekular dan terhambur

Koefisien hamburan didefinisikan dengan tidak memperhitungkan bagaimana energi terhambur didistribusikan. Seperti halnya koefisien penyerapan, koefisien hamburan juga tergantung pada frekuensi dan sudut datang.

Untuk menentukan koefisien hamburan dapat digunakan persamaan-persamaan berikut ini. Energi terpantul spekular dinyatakan sebagai berikut (Vorländer dan Mommertz, 2000):

$$E_{Spec} = (1 - \alpha)(1 - s) = (1 - \alpha_{Spec}) \quad (2.41)$$

$$E_{Pantul\ total} = 1 - \alpha \quad (2.42)$$

dengan

E_{Spec} : energi pantul total dikurangi dengan energi terhambur

$E_{Pantul\ total}$: energi datang dikurangi dengan energi yang diserap

s : koefisien hamburan

α : koefisien penyerapan difuser

α_{Spec} : koefisien penyerapan spekular

Koefisien penyerapan spekular adalah perbandingan antara energi yang diserap dan dihamburkan dibagi dengan energi datang. Persamaan untuk koefisien penyerapan dikaitkan dengan waktu dengung adalah sebagai berikut (Vorländer dan Mommertz, 2000; Yong Jeon dkk., 2004):

$$\alpha = 55,3 \frac{V}{cS} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.43)$$

Koefisien penyerapan spekular dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\alpha_{spec} = 55,3 \frac{V}{cS} \left(\frac{1}{T_4} - \frac{1}{T_3} \right) \quad (2.44)$$

Dimana V adalah volume ruang dengung (m^3), c adalah kecepatan suara dalam medium udara 340 m/s, S adalah luas permukaan difuser (m^2), T_1 adalah waktu dengung ketika sampel uji tidak ada dan meja putar tidak berputar (sekon), dan T_2 adalah waktu dengung ketika sampel uji ada dan meja putar tidak berputar (sekon), T_3 adalah waktu dengung ketika sampel uji tidak ada dan meja putar berputar (sekon), dan T_4 adalah waktu dengung ketika sampel uji ada dan meja putar berputar (sekon). Dari persamaan (2.41), (2.42), (2.43) dan (2.44), koefisien hamburan dapat ditentukan dengan:

$$s = \frac{\alpha_{Spec} - \alpha}{1 - \alpha} = 1 - \frac{E_{Spec}}{E_{Pantul\ Total}} \quad (2.45)$$

Dimana s adalah koefisien hamburan (Kosaka dan Sakuma, 2005; Lindkk., 2010; Vorländer dan Mommertz, 2000; Yong Jeon dkk., 2004).

2.7 Eceng Gondok

Tanaman Eceng Gondok memiliki klasifikasi (Amriani, 2014):

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Sub Divisi : Angiospermae
 Kelas : Monocotyledoneae
 Suku : Pontederiaceae
 Marga : *Eichornia*
 Spesies : *Eichornia crassipes*

Nama Binomial : *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms

Eceng Gondok hidup mengapung bebas bila airnya cukup dalam tetapi berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Bijinya berbentuk bulat dan berwarna hitam. Buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau. Akarnya merupakan akar serabut (Lumbanbatu, 2008). Eceng Gondok terlihat seperti Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Eceng Gondok

Eceng Gondok berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat berlipat ganda dua kali dalam waktu 7 - 10 hari. Hasil penelitian Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Hidup Sumatera Utara di Danau Toba melaporkan bahwa satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas 1 m^2 , atau dalam waktu 1 tahun mampu menutup area seluas 7 m^2 . Dalam waktu 6 bulan pertumbuhan Eceng Gondok pada areal 1 Ha dapat mencapai bobot basah sebesar 125 ton. Perkembangbiakannya yang sangat cepat menyebabkan tanaman Eceng Gondok telah berubah menjadi tanaman gulma di beberapa wilayah perairan di Indonesia. Di kawasan perairan danau, eceng gondok tumbuh pada bibir-bibir pantai sampai sejauh 5-20 m. Perkembangbiakan ini juga dipicu oleh peningkatan kesuburan di wilayah perairan danau (eutrofikasi), sebagai akibat dari erosi dan sedimentasi lahan, berbagai aktivitas masyarakat (mandi, cuci, kakus/MCK), budaya perikanan (keramba jaring apung), limbah transportasi dan limbah pertanian. Oleh karena itu, Eceng Gondok sudah menjadi sebuah masalah yang harus dikendalikan perkembangannya (Amriani, 2014; Lumbanbatu, 2008).

2.7.1 Kandungan Eceng Gondok

Tanaman segar Eceng Gondok mengandung 95,5% kelembaban, 0,04% N, 1,0% abu, 0,06% P_2O_5 , 0,20% K_2O , 3,5% bahan organik. Pada basis kelembaban nol, terdapat 75,8% bahan organik, 1,5% N dan 24,2% abu. Abu mengandung 28,7% K_2O , 1,8% Na_2O , 12,8% CaO , 21,0% Cl , dan 7,0% P_2O_5 . Protein mentah mengandung, per 100 g, 0,72 g metionin, 4,72 g fenilalanin, 4,32 g treonin, 5,34 g lisin, 4,32 g isoleusin, 0,27 g valin, dan 7,2 g leusin. Pola pertumbuhan yang cepat, sehingga keberadaannya melimpah dan kandungan yang dimilikinya, membuat eceng gondok memiliki potensi yang layak dikembangkan agar bernilai ekonomis, bernilai jual tinggi dan menjadikan eceng gondok sebagai tanaman esensi yang patut diperhitungkan keberadaannya, bukan hanya tanaman hama atau gulma semata (Amriani, 2014). Kandungan kimia serat Eceng Gondok dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Serat Eceng Gondok

| | |
|--------------|-----|
| Selulosa | 60% |
| Hemiselulosa | 8% |
| Lignin | 17% |

Sumber: Putera, 2012

2.7.2 Karakteristik Eceng Gondok

Karakteristik tanaman Eceng Gondok dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2 Karakteristik Eceng Gondok

| | |
|---|-------|
| Massa jenis (g/cm^3) | 0,25 |
| Sifat putih (whiteness) (%) | 22,2 |
| Kehalusan (fineness) (μ) | 35 |
| Kekuatan tarik (tensile strength) (Mpa) | 18-33 |

Sumber: Putera, 2012

Dari tabel di atas, Eceng Gondok memiliki kekuatan tarik yang cukup baik. Hal ini terbukti pada pemanfaatan Eceng Gondok sekarang ini sebagai kerajinan tangan seperti tas, bangku, sandal, dan lain-lain. Karakteristik serat

selulosa Eceng Gondok yang tinggi dimanfaatkan untuk penguat pada komposit, sebagai panel akustik, dan rencananya akan diteliti sebagai bahan dasar difuser.

2.7.3 Manfaat Eceng Gondok

Pilihan pada pemanfaatan Eceng Gondok karena sejauh ini di Indonesia tanaman ini masih dipandang sebagai gulma perairan, padahal sesungguhnya Eceng Gondok memiliki potensi aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi. Kandungan selulosa Eceng Gondok yang tinggi memungkinkan Eceng Gondok dapat dipakai sebagai bahan baku pembuatan papan partikel. Selain itu Eceng Gondok merupakan bahan yang ringan, kuat, elastis, dan ramah lingkungan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan difuser, karena bersifat lignoselulosik maka tanaman ini juga sangat berpotensi untuk diolah menjadi biogas maupun etanol. Bahkan karena kandungan kimia di dalamnya eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai absorben(Wijayanti, 2015).

Eceng Gondok juga telah dimanfaatkan sebagai penguat material komposit dalam pembuatan Cooling Pad(Achmad, 2014). Lumbanbatu telah memanfaatkan eceng gondok untuk pembuatan kertas(Lumbanbatu, 2008).

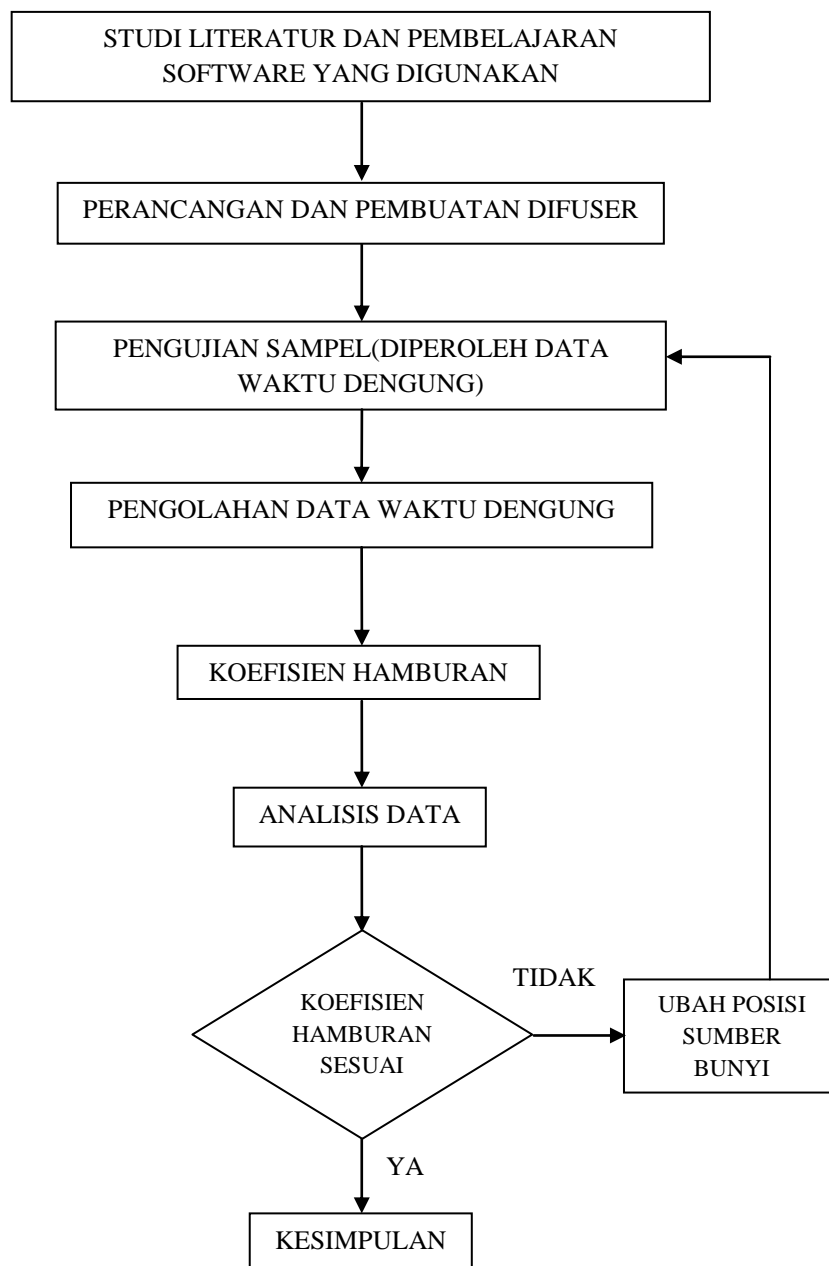
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODA PENELITIAN

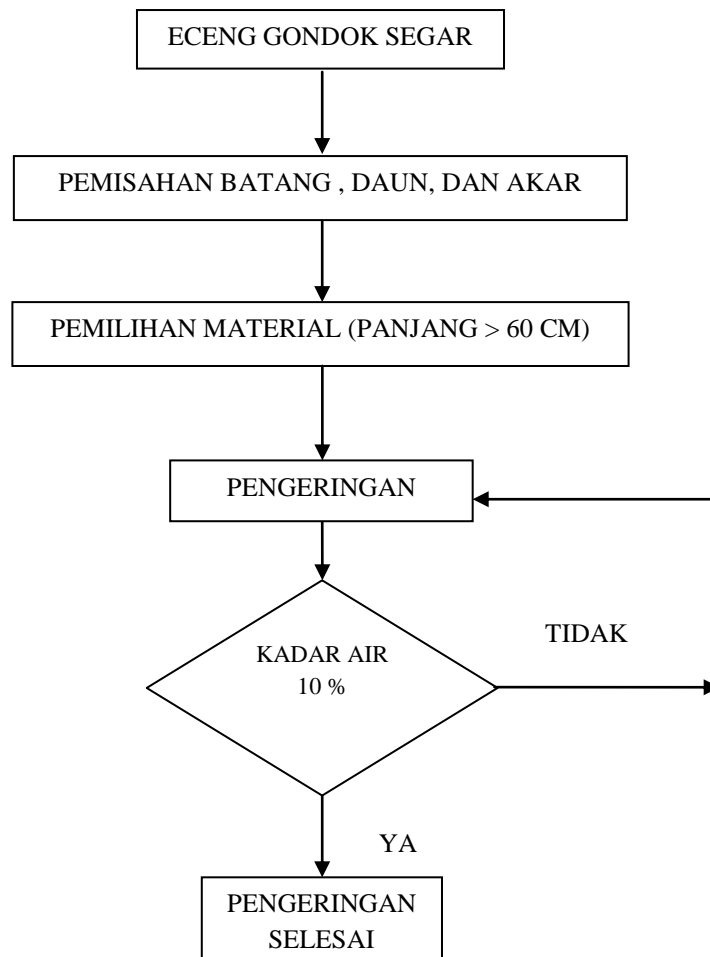
3.1 Tahap-tahap Penelitian

Untuk tercapainya tujuan penelitian ini, maka dalam pelaksanaannya mengikuti tahapan–tahapan yang ada pada diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

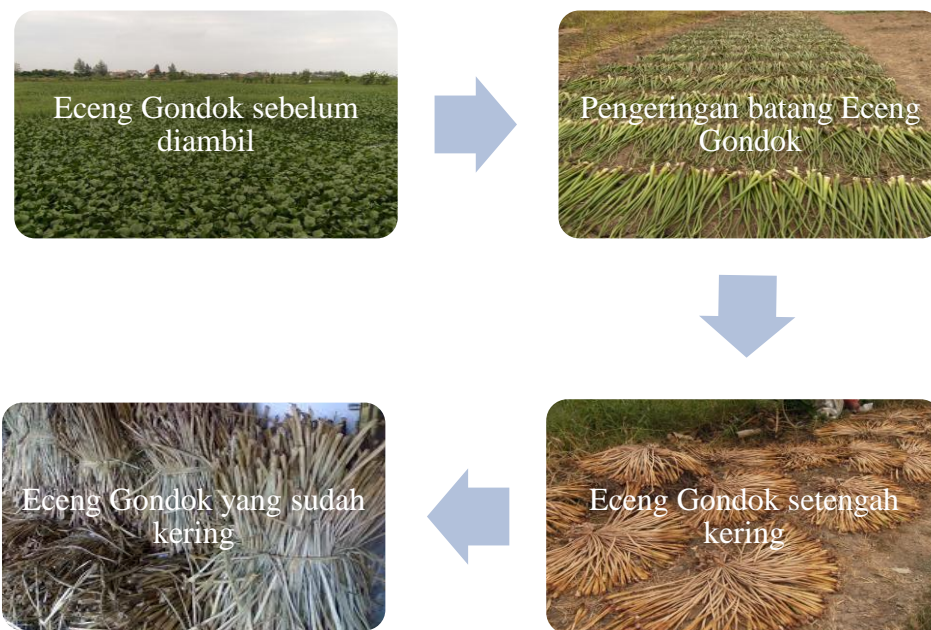
Gambar 3.2 memperlihatkan proses pengambilan sampai pengeringan Eceng Gondok.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengambilan Sampai Pengeringan Eceng Gondok

Ketersediaan Eceng Gondok dalam jumlah banyak, memudahkan untuk mengambil dan memilih sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Oleh karena itu, proses pengambilan Eceng Gondok sangatlah mudah, begitu juga dalam proses pengeringannya. Ketersediaan lahan untuk mengeringkan di dekat danau tempat pengambilan Eceng Gondok sangat membantu dalam proses pengeringan.

Gambar 3.3 memperlihatkan foto-foto proses pengambilan dan pengeringan Eceng Gondok dan Tabel 3.1 menunjukkan kadar air Eceng Gondok setelah pengeringan.



Gambar 3.3 Foto Proses Pengambilan dan Pengeringan Eceng Gondok

Tabel 3.1 Kadar air Eceng Gondok setelah Pengeringan

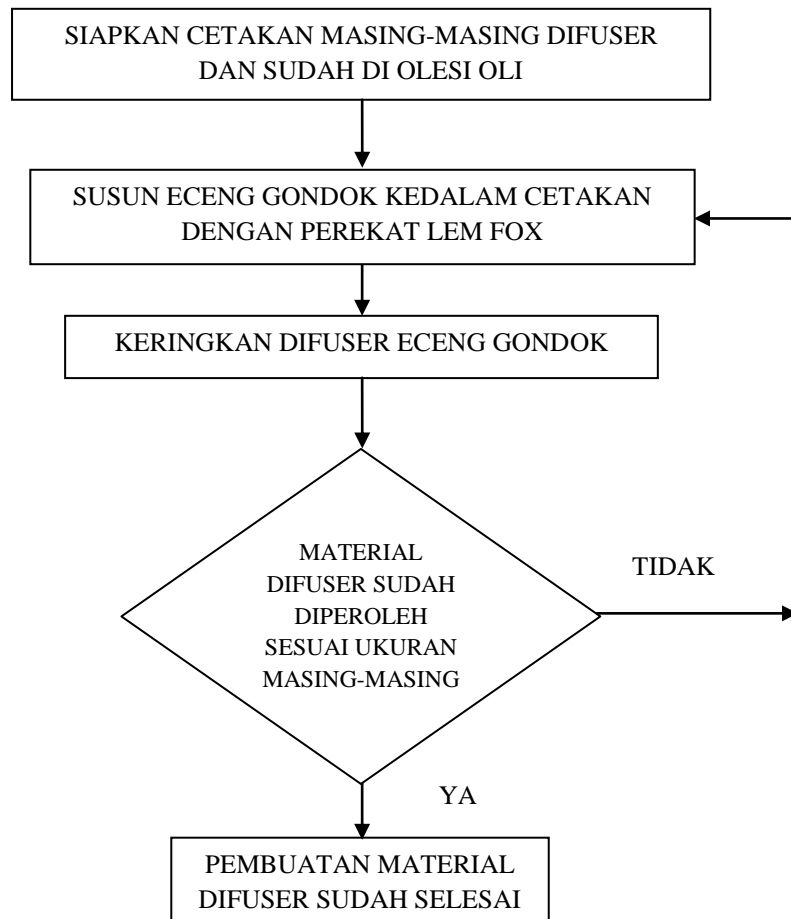
| Tanggal | Massa (kg) | Kadar air (%) | Keterangan |
|---------------|------------|---------------|--------------------|
| 08 April 2016 | 1 | 100 | Basah/Baru diambil |
| 10 April 2016 | 0,8 | 80 | Jemur 2 hari |
| 12 April 2016 | 0,4 | 40 | Jemur 4 hari |
| 14 April 2016 | 0,2 | 20 | Jemur 6 hari |
| 16 April 2016 | 0,1 | 10 | Jemur 8 hari |

Gambar 3.4 di bawah ini menunjukkan proses untuk mendapatkan Eceng Gondok siap untuk dicetak.



Gambar 3.4 Proses Mendapatkan Eceng Gondok Siap untuk Dicetak

Eceng Gondok yang sudah kering, selanjutnya dipotong sesuai ukuran. Setelah ukuran Eceng Gondok diperoleh, kemudian dipres atau dipipihkan untuk mendapatkan Eceng Gondok padat dan untuk mempermudah penyusunannya pada cetakan. Gambar 3.5 memperlihatkan diagram alir untuk mendapatkan material difuser.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Material Difuser

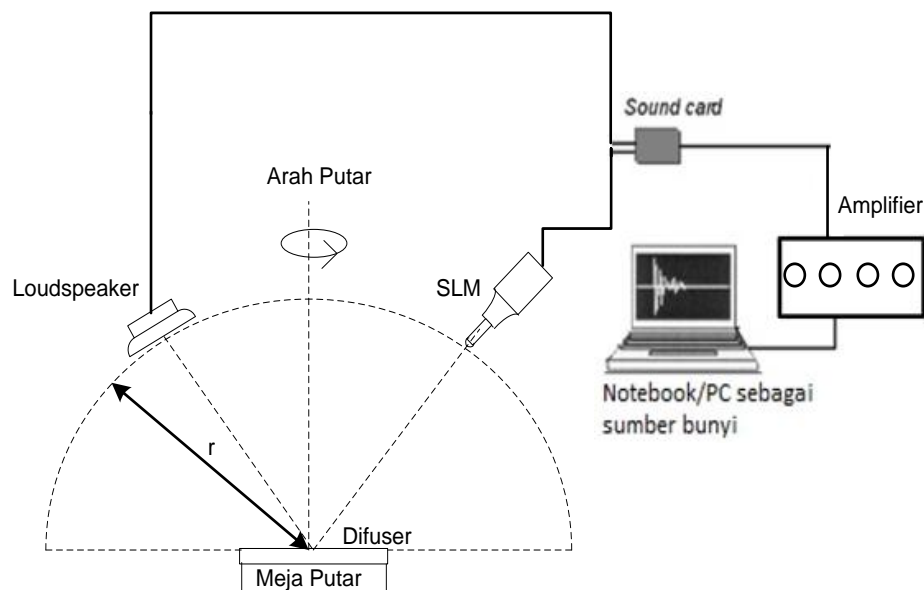
Proses pembuatan material difuser perlu keterampilan dalam menyusun Eceng Gondok kedalam cetakan, supaya material sama rata disemua sisi. Pengolesan lem Fox juga harus sama rata pada semua permukaan material agar material lengket dengan sempurna. Dalam proses ini, seringkali ukuran material tidak sesuai dengan yang diinginkan. Oleh karena itu, perlu keterampilan menempatkan Eceng Gondok dalam cetakan. Setelah selesai, selanjutnya material di lepas dari cetakan dan dikeringkan supaya lem lebih merekat, dan terakhir dipotong menggunakan cutter dengan ukuran 6 cm.

3.2 Pengenalan Alat

Tahap ini bertujuan membahas fungsi dan karakteristik peralatan yang digunakan dalam penelitian. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang meliputi :

- i. *Personal Computer* (PC) : PC berfungsi sebagai penghasil sumber bunyi yang berupa bunyi impuls dari *Realtime Analyzer*. PC juga berfungsi sebagai pengolah data yang dilakukan di bagian *Sound Analyzing*. *Realtime Analyzer* dan *Sound Analyzing* merupakan bagian dari perangkat lunak *Yoshimasa Electronic*.
- ii. Amplifier : berfungsi sebagai penguat bunyi yang dikeluarkan dari PC sebelum masuk ke speaker.
- iii. Speaker : berfungsi mengeluarkan bunyi yang berasal dari PC setelah dikuatkan oleh amplifier. Speaker ini yang nanti disebut sebagai sumber bunyi.
- iv. Sound Level Meter (SLM) : berfungsi sebagai mikrofon untuk menangkap peluruhan bunyi yang terjadi.
- v. Meja putar (*turntable*) : berfungsi untuk memutar bahan uji (difuser).

Untuk mengukur koefisien hamburan pada difuser, maka skema peralatannya ditunjukkan seperti pada Gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6 Skema Peralatan untuk Mengukur Koefisien Hamburan (Ardhiansyah, 2011; Cox and D'Antonio, 2009; Vorländer and Mommertz, 2000).

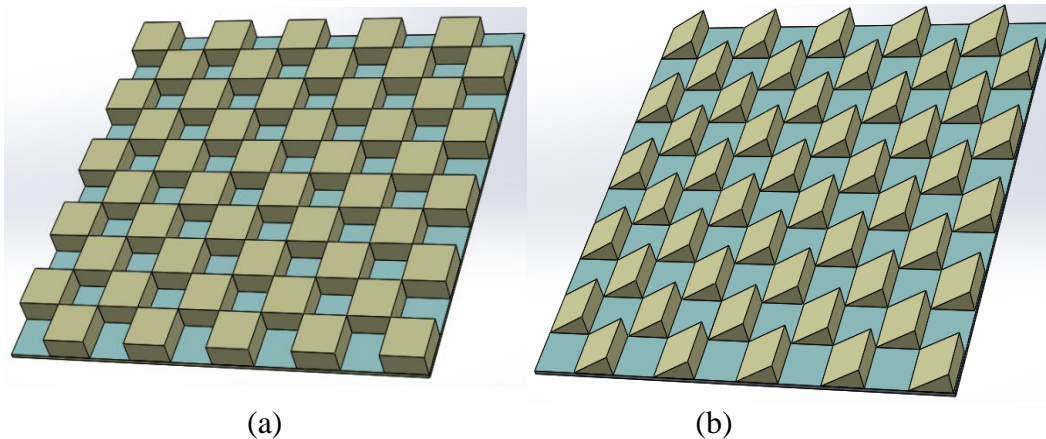
3.3 Studi Literatur

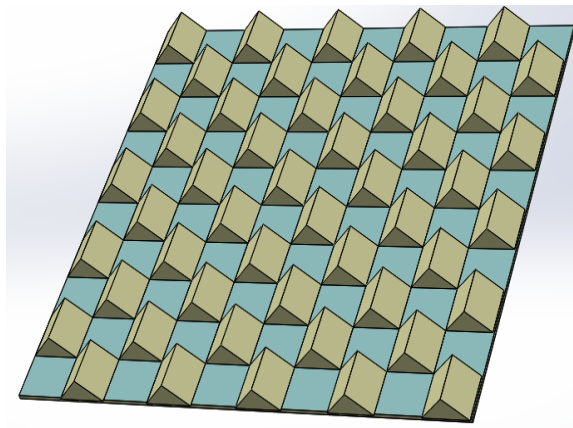
Studi literatur adalah salah satu teknik yang dapat digunakan dalam melaksanakan sebuah penelitian. Oleh karena itu, studi literatur dilakukan pada penelitian ini untuk memahami dengan baik tentang penelitian yang akan dilakukan dan mendukung proses penelitian. Studi literatur juga dapat menyelesaikan persoalan dengan menelusuri sumber-sumber tulisan yang pernah dipublikasi sebelumnya.

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan tinjauan pustaka dan metodologi penelitian yang berkaitan sehingga dapat menjadi acuan dalam melakukan analisis dan pembahasan. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tugas akhir, thesis, buku-buku teks, artikel, jurnal ilmiah, dan prosiding.

3.4 Rancangan Difuser dalam Penelitian

Difuser yang dirancang pada penelitian ini adalah difuser berbentuk *rectangular*, *sawtooth*, dan *triangle* berbahan dasar Eceng Gondok. Alas difuser terbuat dari triplek setebal 5 mm dengan panjang dan lebar 60 cm x 60 cm. Kemudian panjang, lebar dan tinggi difuser masing-masing 6 cm, 6 cm, dan 3 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut ini.





(c)

Gambar 3.7 Material Difuser: (a) Rectangular; (b) Sawtooth; (c) Triangle.

3.5 Pengaturan Pengujian

Metode pengukuran koefisien hamburan didasarkan pada ISO354 yakni pengukuran penyerapan bunyi dalam ruang dengung. ISO yang saat ini dipakai untuk mengukur koefisien hamburan yakni ISO17497-1 merupakan perluasan dari ISO354 meliputi kondisi pengukuran yang berkaitan dengan bahan uji. Bahan uji ditempatkan pada meja putar dan dilakukan pengukuran dengan sudut datang berbeda-beda. Pengukuran dilakukan dalam ruang dengung Laboratorium Akustik Fisika FMIPA ITS dengan metode ruang dengung Vorländer/Mommertz atau dapat disebut juga metode ISO. Metode ISO ini terdiri dari beberapa langkah, antara lain :

1. Menyiapkan bahan serta merangkai peralatan yang akan digunakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. Jarak meja putar ke lantai 30 cm dan jarak meja putar ke speaker dan mikrofon(SLM) 120 cm.
2. Melakukan kalibrasi terhadap mikrofon SLM dengan menggunakan kalibrator Rion. Kalibrasi dilakukan dengan cara memasang kalibrator Rion pada mikrofon, kemudian level bunyi yang terbaca pada *Yoshimasa Electronic* disamakan yang tertera pada kalibrator Rion yaitu 113,9 dB untuk frekuensi 250 Hz. Caranya adalah dengan memilih tombol *calibration* yang terdapat pada program *FFT Analyzer* dari *Yoshimasa Electronic*. Selanjutnya input levelnya diatur agar menunjukkan nilai 113,9 dB pada frekuensi 250 Hz.

3. Mengukur waktu dengung dengan memutar meja putar dengan kecepatan 30 rpm dan pengambilan data dilakukan dengan sudut antara garis normal (pusat meja putar) dan sumbu speaker (Gambar 3.8) sebesar $\theta = 0^\circ, 30^\circ$, dan 60° .



Gambar 3.8 Pengaturan Peralatan dan Bahan Uji pada Pengukuran.

3.6 Perhitungan Koefisien Hamburan

Koefisien hamburan dapat dihitung dari koefisien penyerapan difuser (α) dan koefisien penyerapan spekular (α_{spec}). Persamaan untuk koefisien penyerapan dikaitkan dengan waktu dengung adalah sebagai berikut (Vorländer dan Mommertz, 2000; Yong Jeon dkk., 2004):

$$\alpha = 55,3 \frac{V}{cS} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3.1)$$

Koefisien penyerapan spekular dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\alpha_{spec} = 55,3 \frac{V}{cS} \left(\frac{1}{T_4} - \frac{1}{T_3} \right) \quad (3.2)$$

Sehingga koefisien hamburan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 di bawah ini:

$$s = \frac{\alpha_{spec} - \alpha}{1 - \alpha} \quad (3.3)$$

Dengan:

α : koefisien penyerapan difuser

α_{spec} : koefisien penyerapan spekular

V : volume ruang dengung (m^3)

A : luas bahan uji (m^2)

T_1 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji tidak ada dan meja putar tidak berputar (sekon)

T_2 : waktu dengung ruang uji ketika bahan uji ada dan meja putar tidak berputar (sekon)

T_3 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji tidak ada dan meja putar berputar (sekon)

T_4 : waktu dengung ruang uji saat bahan uji ada dan meja putar berputar (sekon)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Pengukuran

Dalam penelitian ini, ruang uji yang digunakan untuk mengukur waktu dengung adalah ruang dengung Laboratorium Akustik Jurusan Fisika – FMIPA ITS dengan volume = $140,058 \text{ m}^3$. Berdasarkan rekomendasi ISO, volume ruang dengung yang diperlukan adalah 250 m^3 . Apabila dibandingkan dengan volume ruang dengung standar maka volume ruang dengung yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 : 2 volume ISO, sesuai dengan perhitungan:

$$\frac{140,058 \text{ m}^3}{250 \text{ m}^3} = \frac{1}{1,78}$$

Difuser yang dibuat adalah difuser MLS (*Maximum Length Sequences*) dua dimensi berbentuk *rectangular*, *sawtooth*, dan *triangle*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Alas difuser terbuat dari triplek yang luasnya $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ atau $0,36 \text{ m}^2$, sedangkan tonjolan terbuat dari Eceng Gondok yang disusun membentuk *rectangular*, *sawtooth*, dan *triangle* dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi masing-masing adalah $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$.

Dalam penelitian ini digunakan *turntable* terbuat dari besi berbentuk lingkaran dengan diameter 52 cm dan ketebalan 5 mm . *turntable* yang digunakan memiliki jarak 30 cm dari lantai.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Difuser Tampak Samping: (a) Rectangular; (b) Sawtooth; (c) Triangle

Gambar 4.2 di bawah ini memperlihatkan sebuah difuser berbahan Kerang Darah (*Anadara Granosa*). Alas difuser terbuat dari triplek yang luasnya 0,6 m x 0,6 m atau 0,36 m², sedangkan tonjolan terbuat dari Kerang Darah dengan diameter 5-6 cm dan tingginya 1,7-2 cm. Difuser ini disajikan sebagai data pembandingan.



Gambar 4.2 Difuser Kerang Darah (*Anadara Granosa*)(Alfianti, 2016).

4.2 Data Pengukuran Waktu Dengung

Hasil pengukuran waktu dengung untuk semua difuser pada frekuensi 4000 Hz dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data waktu dengung untuk frekuensi 4000 Hz

| Bentuk | Sudut (°) | 4000 Hz | | | |
|--------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | T ₁ (s) | T ₂ (s) | T ₃ (s) | T ₄ (s) |
| R | 0 | 6,035 | 6,364 | 9,334 | 10,3 |
| | stdev | 0,076 | 0,025 | 0,134 | 0,362 |
| | 30 | 4,212 | 4,223 | 4,342 | 4,233 |
| | stdev | 0,178 | 0,013 | 0,345 | 1,995 |
| | 60 | 6,445 | 6,588 | 7,178 | 7,649 |
| | stdev | 1,568 | 2,716 | 1,402 | 0,598 |
| S | 0 | 5,955 | 6,43 | 9,426 | 10,4 |
| | stdev | 0,018 | 0,031 | 0,166 | 0,241 |
| | 30 | 4,146 | 4,131 | 4,026 | 4,306 |
| | stdev | 0,182 | 0,127 | 0,161 | 0,356 |
| | 60 | 4,084 | 4,008 | 4,159 | 4,15 |
| | stdev | 0,13 | 0,103 | 0,149 | 0,018 |
| T | 0 | 5,995 | 6,396 | 9,824 | 10,095 |
| | stdev | 0,008 | 0,097 | 0,188 | 0,324 |
| | 30 | 4,097 | 4,162 | 4,086 | 4,112 |
| | stdev | 0,117 | 0,25 | 0,163 | 0,224 |
| | 60 | 4,196 | 4,28 | 3,916 | 4,192 |
| | stdev | 0,06 | 0,358 | 0,083 | 0,087 |

Data lengkap pengukuran waktu dengung dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3 Perhitungan Koefisien Hamburan

Dari data waktu dengung yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien hamburan difuser. Hasil perhitungan disampaikan dalam Lampiran 2. Berikut adalah contoh perhitungan koefisien hamburan untuk *rectangular* diffuser pada frekuensi 4000 Hz dan sudut 30°.

$$\begin{aligned}
\alpha &= \frac{55,3 \text{ V}}{cS} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\
&= \frac{55,3 (140,058)}{340 \times 0,36} \left(\frac{1}{4,223} - \frac{1}{4,212} \right) \\
&= 62,248 (-0,00062) \\
&= -0,038
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{spec} &= \frac{55,3 \text{ V}}{cS} \left(\frac{1}{T_4} - \frac{1}{T_3} \right) \\
&= \frac{55,3 (140,058)}{340 \times 0,36} \left(\frac{1}{4,233} - \frac{1}{4,342} \right) \\
&= 62,248 (0,00593) \\
&= 0,369
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s &= \frac{\alpha_{spec} - \alpha}{1 - \alpha} \\
&= \frac{0,369 + 0,038}{1 + 0,038} \\
&= 0,392
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh koefisien hamburan semua difuser untuk berbagai sudut dan frekuensi, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan koefisien hamburan

| Bentuk | Sudut | all | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| R | 0 | 0,354 | -0,171 | 0,342 | 0,359 | 0,689 | -0,43 | -0,06 |
| | 30 | 0,22 | -0,419 | 0,793 | 0,622 | -0,049 | -0,113 | 0,392 |
| | 60 | 0,61 | 0,713 | 0,964 | 0,787 | -0,387 | 2,133 | -0,268 |
| S | 0 | 0,268 | -0,326 | 0,243 | 0,341 | 0,495 | -0,133 | 0,086 |
| | 30 | 0,13 | 0,2 | 2,27 | 0,111 | 0,664 | 0,769 | -1,121 |
| | 60 | -0,309 | -0,171 | 1,538 | 1,173 | 0,598 | 0,143 | -0,36 |
| T | 0 | 0,476 | -0,161 | 0,332 | 0,413 | 0,541 | -0,374 | 0,291 |
| | 30 | -0,149 | -2,151 | -2,407 | 0,612 | 3,363 | -0,185 | 0,113 |
| | 60 | -0,84 | 1,703 | 0,319 | 3,925 | -0,36 | 0,469 | -0,585 |

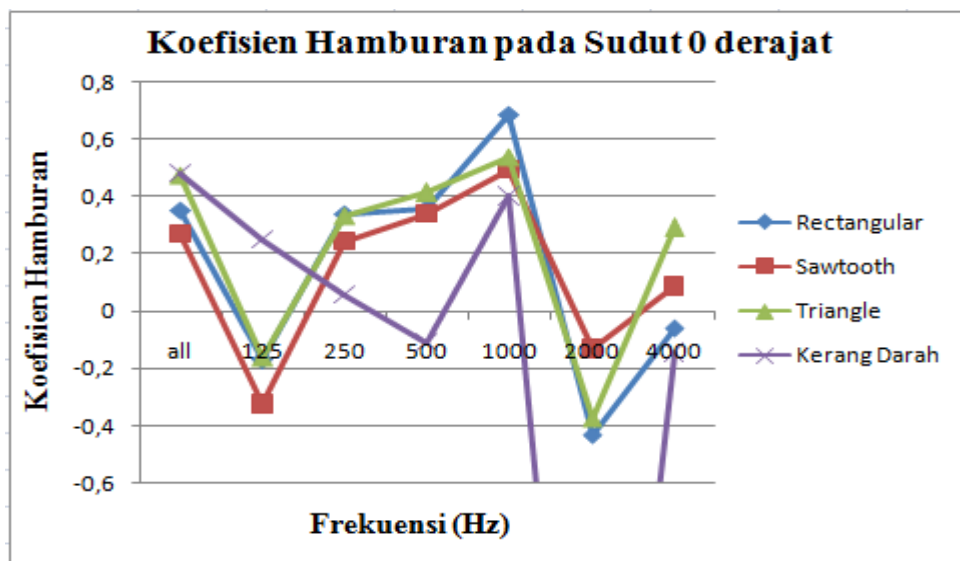
Tabel 4.3 berikut ini menyajikan koefisien hamburan difuser Kerang Darah (*Anadara Granosa*).

Tabel 4.3 Koefisien hamburan difuser Kerang Darah

| Sudut | all | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 0 | 0,48 | 0,25 | 0,06 | -0,11 | 0,40 | -2,67 | -0,15 |
| 30 | 0,37 | 1,57 | 0,92 | 0,40 | 0,06 | 0,13 | 2,43 |
| 60 | 0,21 | 0,77 | -0,27 | 0,52 | 0,09 | 0,22 | 1,05 |

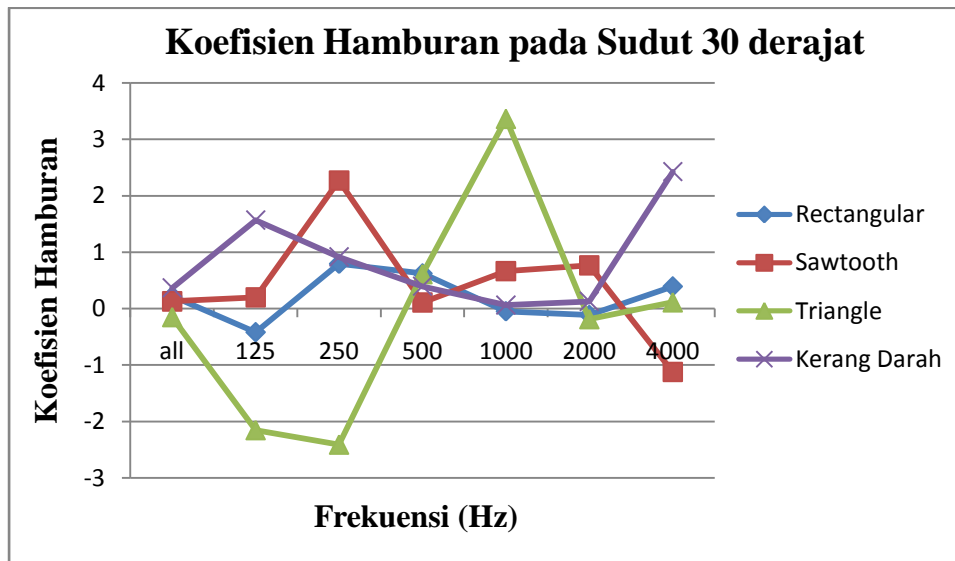
Sumber: Alfianti, 2016

Hasil perhitungan koefisien hamburan digunakan untuk melakukan analisis terhadap frekuensi. Untuk memudahkan analisis dibuat grafik koefisien hamburan sebagai fungsi frekuensi, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3-4.5 berikut ini.



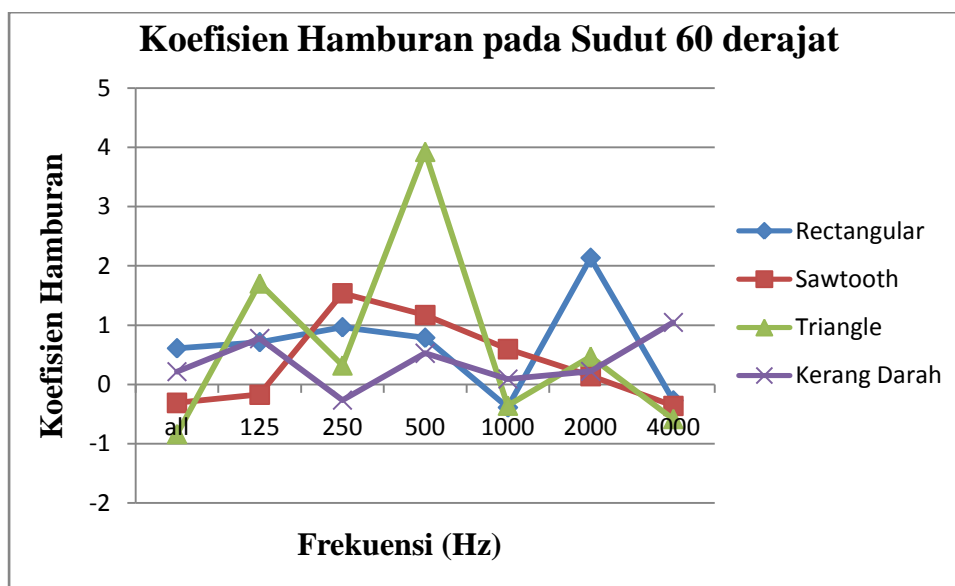
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 0°.

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa koefisien hamburan untuk semua frekuensi lebih kecil dari 1, hal ini dikarenakan posisi sumber suara dengan difuser saling tegak lurus. Semua difuser memberikan hamburan dengan baik pada rentang frekuensi 250-1000 Hz untuk difuser berbahan Eceng Gondok, sedangkan difuser Kerang Darah dapat memberikan hamburan dengan baik hanya pada frekuensi 1000 Hz.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 30°.

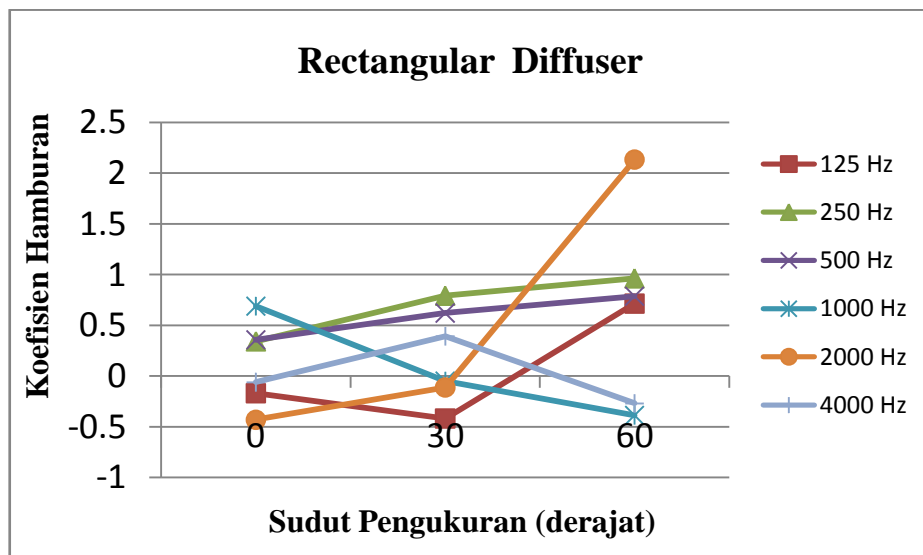
Dari Gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa *rectangular* diffuser memiliki hamburan terbaik pada rentang frekuensi 250-500 Hz, sedangkan *sawtooth* diffuser hamburan terbaiknya pada rentang 1000-2000 Hz. Pada sudut pengukuran ini *triangle* diffuser tidak menghamburkan bunyi dengan baik kecuali pada frekuensi 500 Hz, sementara difuser Kerang Darah hamburan terbaiknya pada frekuensi 250-500 Hz.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Frekuensi pada Sudut Pengukuran 60°.

Pada Gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa hanya *rectangular* diffuser yang memiliki hamburan baik pada rentang frekuensi 125-500 Hz. *Sawtooth* diffuser memiliki hamburan terbaiknya pada frekuensi 1000 Hz, dan *triangle* diffuser pada frekuensi 2000 Hz. Sementara difuser Kerang Darah dapat memberikan hamburan dengan baik pada frekuensi 125 dan 500 Hz.

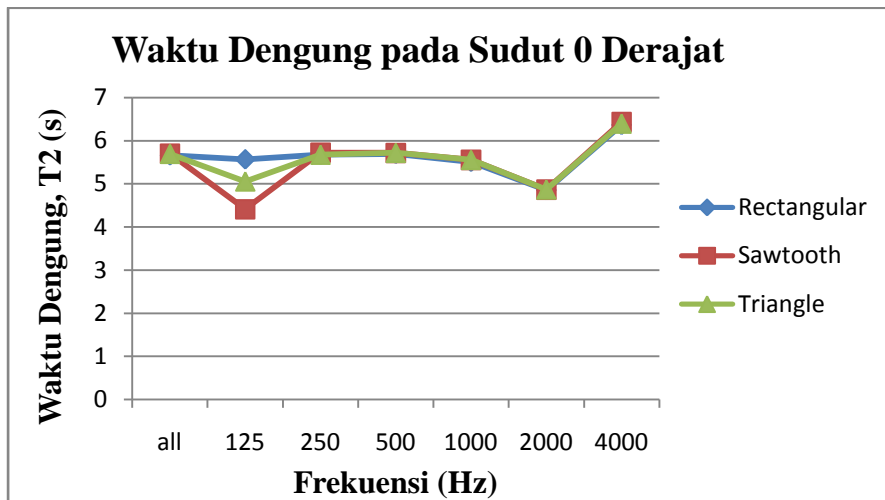
Rectangular diffuser dapat menghamburkan bunyi dengan baik pada frekuensi 250 Hz dan 500 Hz untuk semua sudut pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Koefisien Hamburan dengan Sudut Pengukuran Rectangular Diffuser.

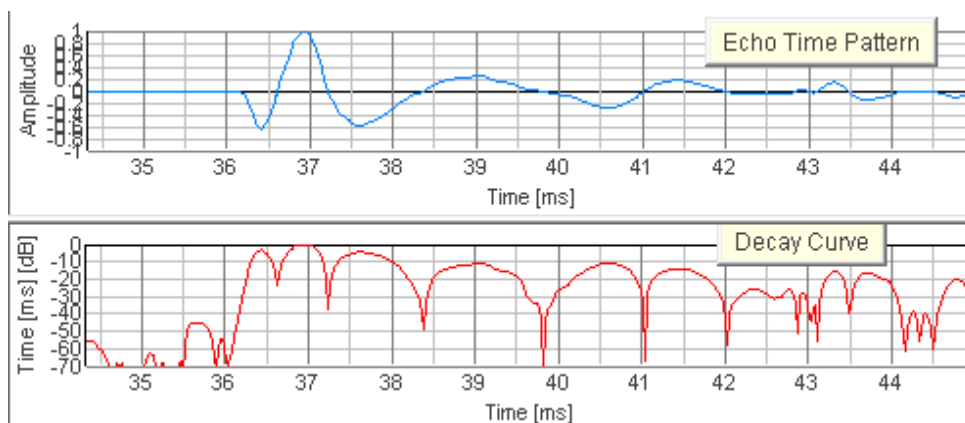
Dari Gambar 4.6 di atas menunjukkan bahwa koefisien hamburan tertinggi *rectangular* diffuser pada frekuensi 250 dan 500 Hz terjadi pada sudut pengukuran 60°. Gambar 4.7 memperlihatkan grafik waktu dengung pada semua frekuensi ketika bahan difusernya ada dan meja putarnya tidak berputar dalam ruang dengung dengan volume 140,058 m³.

Dari grafik terlihat bahwa pada frekuensi 125 Hz, *rectangular* diffuser memiliki waktu dengung paling besar diikuti *triangle* dan *sawtooth* diffuser masing-masing 5,566, 5,052, dan 4,411 detik. Waktu dengung terbesar semua difuser terjadi pada frekuensi 4000 Hz.

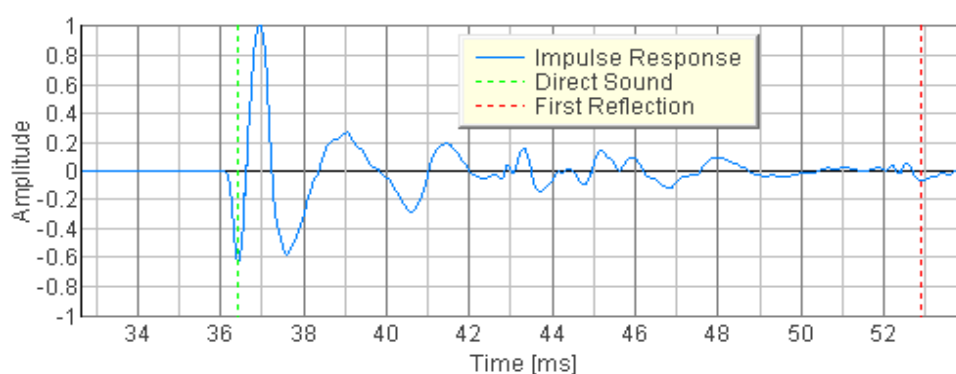


Gambar 4.7 Waktu dengung (T_2) pada Sudut 0 derajat.

Gambar 4.8 di bawah ini menunjukkan pola waktu dengung, kurva peluruhan energi, dan impulse response.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Waktu Dengung T_2 , Rectangular Diffuser pada Sudut 0° : (a) Pola Waktu Dengung (biru), dan Peluruhan Energi (merah); (b) Impulse Response.

Gambar 4.8 di atas adalah hasil pengukuran waktu dengung T_2 *rectangular* diffuser pada sudut 0° . Dari gambar terlihat bahwa bunyi langsung terjadi pada waktu 36,39 ms, dan bunyi pantul pertamanya pada waktu 52,87 ms.

4.4 Pembahasan

Prinsip koefisien hamburan adalah untuk memisahkan bunyi yang dipantulkan spekular dengan komponen bunyi yang terhambur. Gelombang bunyi datang yang mengenai suatu permukaan akan mengalami beberapa peristiwa yaitu diserap, dipantulkan spekular, dan dihamburkan. Bunyi yang datang akan diserap sebagian energinya oleh permukaan bergantung dari koefisien penyerapan bahannya. Sisa energinya akan dipantulkan secara spekular dan dihamburkan.

Dalam penelitian ini, pengukuran waktu dengung dilakukan sebanyak tiga kali. Antara pengukuran pertama dan pengukuran berikutnya tanpa diberi jeda waktu. Dari tiga kali pengukuran diperoleh waktu dengung yang tidak sama antara pengukuran pertama dan pengukuran berikutnya. Hal ini mungkin terjadi karena ketika pengukuran pertama ke pengukuran berikutnya, medan bunyi pertama dalam ruang masih tersisa, sehingga ada kemungkinan medan bunyi yang tersisa tersebut ikut terukur pada saat pengukuran berikutnya, sehingga bunyi yang terukur pada mikrofon ada kemungkinan adalah bunyi yang telah bercampur dengan bunyi pantul dari dinding. Hal inilah yang mungkin menyebabkan energi yang terpantul spekular dan energi yang terhambur menjadi sangat besar yang mengakibatkan koefisien hamburan bernilai negatif (Ardhiansyah, 2011).

Dari data yang diperoleh, ternyata terdapat data yang bernilai negatif. Seperti dijelaskan di atas, hal ini mungkin terjadi dikarenakan adanya tambahan energi pada saat pengukuran yakni bunyi yang berasal dari pantulan dinding samping ruang yang ikut terukur yang mengakibatkan penambahan E_{spek} sehingga bernilai besar. E_{spek} yang besar menyebabkan koefisien hamburan bernilai negatif. Untuk meminimalisir terjadinya koefisien hamburan bernilai negatif, maka perlu untuk memasang reflektor pada sudut ruang dengung, seperti yang diterapkan D'Antonio dan Rife, Kim dkk., dan Lin dkk. (D'Antonio dan Rife, 2011; Kim dkk., 2012; Lin dkk., 2010).

4.4.1 Efek Perbedaan Bentuk Difuser

Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 menunjukkan koefisien hamburan *rectangular*, *sawtooth*, *triangle*, dan Kerang Darah diffuser pada sudut pengukuran 0° , 30° , dan 60° . Hasil dari pengukuran menunjukkan bahwa hamburan *rectangular* diffuser lebih baik dari *sawtooth*, *triangle*, dan Kerang Darah diffuser untuk semua sudut pengukuran. Hal ini disebabkan karena permukaan *rectangular* diffuser lebih rata dari *sawtooth* dan *triangle* diffuser. Permukaan yang rata akan menghamburkan bunyi lebih besar, sehingga energi yang terpantul spekular dan energi yang terhambur menjadi besar. Energi total yang besar mengakibatkan koefisien hamburannya lebih besar.

4.4.2 Efek Perbedaan Sudut Pengukuran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua difuser berbahan Eceng gondok dapat memberikan efek hamburan dengan baik pada rentang frekuensi (250-1000Hz), sedangkan difuser Kerang Darah hamburan terbaiknya hanya pada frekuensi 1000 Hz untuk sudut pengukuran 0° , seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada sudut pengukuran ini, hamburan *rectangular* diffuser lebih baik jika dibandingkan dengan *sawtooth*, *triangle*, dan Kerang Darah diffuser pada frekuensi 250-1000 Hz, sementara *triangle* diffuser masih lebih baik dari *sawtooth* diffuser. Koefisien hamburan semua difuser lebih kecil dari satu untuk semua rentang frekuensi. Hal ini dikarenakan sumber bunyi tegak lurus dengan bahan uji difuser sehingga efek tepi tidak mempengaruhi koefisien hamburannya.

Pada sudut pengukuran 30° seperti Gambar 4.4, *rectangular* diffuser memiliki hamburan terbaik pada frekuensi 250-500 Hz, sedangkan *sawtooth* diffuser hamburan terbaiknya pada frekuensi 1000-2000 Hz, *triangle* diffuser pada frekuensi 500 Hz, dan difuser Kerang Darah hamburan terbaiknya pada frekuensi 250-500 Hz. Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa pada frekuensi 250 Hz, *sawtooth* diffuser memiliki koefisien hamburan lebih besar dari satu, *triangle* diffuser pada frekuensi 1000 Hz, dan difuser Kerang Darah pada frekuensi 125 dan 4000 Hz, sedangkan untuk *rectangular* diffuser, koefisien hamburan untuk semua frekuensi lebih kecil dari satu.

Rectangular diffuser jauh lebih baik hamburannya jika dibandingkan *sawtooth*, *triangle*, dan Kerang Darah diffuser untuk sudut pengukuran 60° seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Dari grafik terlihat bahwa hamburan terbaik *rectangular* diffuser terjadi pada rentang frekuensi 125-500 Hz. Dari grafik juga terlihat adanya koefisien hamburan melebihi satu untuk semua difuser pada frekuensi tertentu.

4.4.3 Efek Perbedaan Bahan Difuser

Dari hasil grafik koefisien hamburan pada Gambar 4.3 terlihat bahwa difuser berbahan Eceng Gondok masih lebih baik jika dibandingkan dengan difuser Kerang Darah. Akan tetapi pada Gambar 4.4 untuk frekuensi 125 Hz, koefisien hamburan difuser Kerang Darah lebih baik dari difuser Eceng Gondok, dimana koefisien hamburan Kerang Darah untuk frekuensi ini adalah 0,92. Sementara pada Gambar 4.5 *rectangular* diffuser berbahan Eceng Gondok lebih baik dari difuser Kerang Darah untuk frekuensi 125-500 Hz. Pada sudut pengukuran 60° , difuser Kerang Darah lebih baik dari *sawtooth* dan *triangle* diffuser untuk frekuensi 125 dan 500 Hz.

4.4.4 Efek Tepi (Edge Effect)

Pada Gambar 4.4 dan 4.5 yakni grafik pada sudut pengukuran 30° dan 60° untuk semua difuser. Dari grafik terlihat bahwa koefisien hamburan pada frekuensi-frekuensi tertentu memiliki nilai lebih besar dari satu, hal ini disebabkan oleh efek tepi (edge effect)(Choi dan Jeong, 2011; Shtrepi dkk., 2016; Yong Jeon dkk., 2004). Efek tepi adalah peristiwa difraksi atau pembelokan bunyi ketika bunyi mengenai tepi bahan difuser. Jika bahan difuser memiliki tepi bebas, yaitu tepi tidak berdekatan dengan dinding tegak lurus, biasanya akan menyerap lebih banyak energi suara per detik secara proporsional dibandingkan dengan daerah geometrisnya(Kuttruff, 2009). Hal ini dapat dikurangi meskipun tidak dapat dihilangkan dengan menutupi tepi bebas dari benda uji dengan bingkai reflektif(Choi dan Jeong, 2011; Kuttruff, 2009). Bingkai reflektif ini harus terbuat dari bahan yang tidak menyerap bunyi seperti aluminium, stainless steel, plastik, dan bahan yang tidak menyerap lainnya(D'Antonio dan Rife, 2011). Kim dkk,

telah memasang bingkai reflektif dari bahan akrilik pada difuser dalam penelitiannya, hasilnya dapat mengurangi efek tepi sehingga koefisien hamburan tidak melebihi dari satu(Kim dkk., 2012). Choi dan Jeong juga telah memasang bingkai reflektif dari akrilik pada difusernya, sehingga koefisien hamburannya lebih kecil dari satu(Choi dan Jeong, 2011).

LAMPIRAN 1

DATA PENGUKURAN WAKTU DENGUNG

Tabel 1.1.1 Waktu dengung rectangular diffuser untuk frekuensi overall dan 125

| Sudut (°) | Frekuensi (Hz) | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | all | | | | 125 | | | |
| | T1 (s) | T2 (s) | T3 (s) | T4 (s) | T1 (s) | T2 (s) | T3 (s) | T4 (s) |
| 0 | 5,742 | 5,662 | 6,027 | 5,766 | 5,698 | 5,267 | 4,77 | 5,825 |
| | 5,723 | 5,67 | 5,995 | 5,752 | 5,75 | 5,649 | 6,748 | 5,578 |
| | 5,732 | 5,64 | 6,022 | 5,778 | 5,737 | 5,782 | 6,492 | 6,269 |
| rata-rata | 5,732 | 5,657 | 6,014 | 5,765 | 5,728 | 5,566 | 6,003 | 5,89 |
| stdev | 0,009 | 0,015 | 0,017 | 0,013 | 0,027 | 0,267 | 1,075 | 0,35 |
| 30 | 4,999 | 5,296 | 5,404 | 5,345 | 4,308 | 7,907 | 6,955 | 6,115 |
| | 5,175 | 5,454 | 5,458 | 5,436 | 7,113 | 6,109 | 4,873 | 6,088 |
| | 5,377 | 5,333 | 5,035 | 5,241 | 6,086 | 5,015 | 4,438 | 4,172 |
| rata-rata | 5,183 | 5,361 | 5,299 | 5,340 | 5,835 | 6,343 | 5,422 | 5,458 |
| stdev | 0,189 | 0,082 | 0,230 | 0,097 | 1,419 | 1,460 | 1,345 | 1,114 |
| 60 | 6,146 | 5,322 | 7,121 | 6,516 | 2,546 | 7,221 | 5,528 | 3,671 |
| | 7,124 | 8,78 | 5,495 | 5,367 | 2,356 | 2,122 | 3,651 | 6,391 |
| | 5,515 | 5,318 | 5,516 | 5,437 | 8,315 | 3,641 | 4,891 | 3,224 |
| rata-rata | 6,261 | 6,473 | 6,044 | 5,773 | 4,405 | 4,328 | 4,69 | 4,428 |
| stdev | 0,810 | 1,997 | 0,932 | 0,644 | 3,386 | 2,618 | 0,954 | 1,714 |

Tabel 1.1.2 Waktu dengung rectangular diffuser untuk frekuensi 250 dan 500

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 250 | | | | 500 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,406 | 5,715 | 5,616 | 5,645 | 5,842 | 5,704 | 6,076 | 5,734 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5,389 | 5,682 | 5,688 | 5,679 | 5,843 | 5,691 | 6,01 | 5,702 |
| | 5,379 | 5,626 | 5,787 | 5,825 | 5,83 | 5,684 | 5,998 | 5,76 |
| rata-rata | 5,391 | 5,674 | 5,697 | 5,716 | 5,838 | 5,693 | 6,028 | 5,732 |
| stdev | 0,013 | 0,044 | 0,085 | 0,095 | 0,007 | 0,01 | 0,042 | 0,029 |
| 30 | 6,79 | 7,353 | 7,028 | 6,813 | 7,457 | 6,594 | 6,938 | 6,229 |
| | 4,85 | 6,692 | 6,725 | 5,955 | 6,084 | 6,712 | 6,357 | 6,324 |
| | 7,359 | 6,248 | 5,704 | 5,428 | 5,942 | 6,47 | 5,982 | 5,654 |
| rata-rata | 6,333 | 6,764 | 6,485 | 6,065 | 6,494 | 6,592 | 6,425 | 6,069 |
| stdev | 1,315 | 0,556 | 0,693 | 0,699 | 0,836 | 0,121 | 0,481 | 0,362 |
| 60 | 6,666 | 6,051 | 7,876 | 6,469 | 5,643 | 5,563 | 6,494 | 5,484 |
| | 7,651 | 9,485 | 6,387 | 6,036 | 6,263 | 6,437 | 5,552 | 5,42 |
| | 6,303 | 6,389 | 6,302 | 6,123 | 5,605 | 5,553 | 5,566 | 5,497 |
| rata-rata | 6,873 | 7,308 | 6,855 | 6,209 | 5,837 | 5,851 | 5,870 | 5,467 |
| stdev | 0,697 | 1,892 | 0,885 | 0,229 | 0,369 | 0,507 | 0,539 | 0,041 |

Tabel 1.1.3 Waktu dengung rectangular diffuser untuk frekuensi 1000 dan 2000

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | | | | 2000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,529 | 5,508 | 5,962 | 5,578 | 5,01 | 4,87 | 6,652 | 6,747 |
| | 5,547 | 5,505 | 5,924 | 5,554 | 4,954 | 4,841 | 6,723 | 6,784 |
| | 5,556 | 5,512 | 5,928 | 5,55 | 4,937 | 4,848 | 6,754 | 6,617 |
| rata-rata | 5,544 | 5,508 | 5,938 | 5,560 | 4,967 | 4,853 | 6,709 | 6,716 |
| stdev | 0,013 | 0,003 | 0,02 | 0,015 | 0,038 | 0,015 | 0,052 | 0,087 |
| 30 | 6,567 | 6,741 | 5,561 | 6,82 | 5,474 | 4,965 | 5,552 | 5,211 |
| | 6,01 | 6,671 | 6,293 | 5,808 | 5,32 | 5,692 | 5,196 | 5,435 |
| | 6,169 | 5,779 | 5,779 | 5,505 | 5,243 | 5,746 | 5,265 | 5,938 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| rata-rata | 6,248 | 6,397 | 5,877 | 6,044 | 5,345 | 5,467 | 5,337 | 5,528 |
| stdev | 0,286 | 0,536 | 0,375 | 0,688 | 0,117 | 0,436 | 0,188 | 0,372 |
| 60 | 5,36 | 4,99 | 5,931 | 5,192 | 5,36 | 4,539 | 6,164 | 5,819 |
| | 6,002 | 5,559 | 5,247 | 5,11 | 8,688 | 6,228 | 5,094 | 5,768 |
| | 5,26 | 4,973 | 5,271 | 5,172 | 5,031 | 4,62 | 5,064 | 5,524 |
| rata-rata | 5,540 | 5,174 | 5,483 | 5,158 | 6,359 | 5,129 | 5,440 | 5,703 |
| stdev | 0,402 | 0,333 | 0,388 | 0,042 | 2,023 | 0,952 | 0,626 | 0,157 |

Tabel 1.1.4 Waktu dengung rectangular diffuser untuk frekuensi 4000

| sudut | Frekuensi | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|--------|
| | 4000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 6,12 | 6,393 | 9,442 | 9,882 |
| | 6,015 | 6,347 | 9,183 | 10,487 |
| | 5,971 | 6,353 | 9,378 | 10,531 |
| rata-rata | 6,035 | 6,364 | 9,334 | 10,3 |
| stdev | 0,076 | 0,025 | 0,134 | 0,362 |
| 30 | 4,165 | 4,22 | 4,505 | 4,144 |
| | 4,062 | 4,212 | 4,576 | 4,089 |
| | 4,41 | 4,239 | 3,945 | 7,573 |
| rata-rata | 4,212 | 4,223 | 4,342 | 4,233 |
| stdev | 0,178 | 0,013 | 0,345 | 1,995 |
| 60 | 8,102 | 5,263 | 8,697 | 8,282 |
| | 6,251 | 9,713 | 6,907 | 7,093 |
| | 4,984 | 4,788 | 5,931 | 7,573 |
| rata-rata | 6,445 | 6,588 | 7,178 | 7,649 |
| stdev | 1,568 | 2,716 | 1,402 | 0,598 |

Tabel 1.2.1 Waktu dengung sawtooth diffuser untuk frekuensi overall dan 125

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | all | | | | 125 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,713 | 5,677 | 6,012 | 5,793 | 7,203 | 5,248 | 5,327 | 4,395 |
| | 5,715 | 5,703 | 6,033 | 5,841 | 8,368 | 4,023 | 8,056 | 3,585 |
| | 5,707 | 5,711 | 6,005 | 5,925 | 8,831 | 3,962 | 6,857 | 2,711 |
| rata-rata | 5,711 | 5,697 | 6,016 | 5,853 | 8,134 | 4,411 | 6,746 | 3,563 |
| stdev | 0,004 | 0,017 | 0,014 | 0,066 | 0,838 | 0,725 | 1,367 | 0,842 |
| 30 | 5,264 | 5,279 | 5,328 | 5,449 | 5,402 | 6,657 | 5,901 | 6,14 |
| | 5,391 | 5,299 | 5,342 | 5,187 | 7,611 | 6,754 | 5,093 | 6,057 |
| | 5,083 | 5,255 | 5,439 | 5,376 | 6,093 | 6,221 | 7,44 | 6,254 |
| rata-rata | 5,246 | 5,277 | 5,369 | 5,337 | 6,368 | 6,544 | 6,144 | 6,15 |
| stdev | 0,154 | 0,022 | 0,06 | 0,135 | 1,13 | 0,283 | 1,192 | 0,098 |
| 60 | 5,287 | 5,184 | 4,989 | 5,167 | 3,108 | 4,895 | 5,182 | 5,914 |
| | 5,227 | 5,162 | 5,178 | 5,126 | 5,066 | 4,116 | 6,566 | 3,969 |
| | 5,203 | 5,124 | 5,181 | 5,131 | 7,618 | 4,743 | 5,546 | 4,842 |
| rata-rata | 5,239 | 5,156 | 5,116 | 5,141 | 5,264 | 4,584 | 5,764 | 4,908 |
| stdev | 0,043 | 0,03 | 0,109 | 0,022 | 2,261 | 0,412 | 0,717 | 0,974 |

Tabel 1.2.2 Waktu dengung sawtooth diffuser untuk frekuensi 250 dan 500

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 250 | | | | 500 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,385 | 5,717 | 5,591 | 5,8 | 5,858 | 5,712 | 6,052 | 5,749 |
| | 5,374 | 5,72 | 5,804 | 5,761 | 5,874 | 5,718 | 6,038 | 5,741 |
| | 5,369 | 5,727 | 5,503 | 5,783 | 5,847 | 5,712 | 6,013 | 5,745 |
| rata-rata | 5,376 | 5,721 | 5,632 | 5,781 | 5,859 | 5,714 | 6,034 | 5,745 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| stdev | 0,008 | 0,005 | 0,154 | 0,019 | 0,013 | 0,003 | 0,019 | 0,004 |
| 30 | 6,334 | 6,059 | 6,274 | 7,23 | 4,612 | 7,15 | 6,315 | 7,174 |
| | 6,162 | 6,748 | 7,17 | 5,507 | 6,436 | 5,437 | 5,93 | 6,265 |
| | 6,123 | 4,975 | 6,537 | 4,213 | 6,807 | 6,253 | 6,447 | 5,981 |
| rata-rata | 6,206 | 5,927 | 6,66 | 5,65 | 5,951 | 6,28 | 6,23 | 6,473 |
| stdev | 0,112 | 0,893 | 0,46 | 1,513 | 1,174 | 0,856 | 0,268 | 0,623 |
| 60 | 6,608 | 4,974 | 6,932 | 4,269 | 6,593 | 5,947 | 6,63 | 6,88 |
| | 6,036 | 4,797 | 4,23 | 7,285 | 5,879 | 6,585 | 7,355 | 5,837 |
| | 7,057 | 5,286 | 4,904 | 4,563 | 5,561 | 5,959 | 7,07 | 5,797 |
| rata-rata | 6,567 | 5,019 | 5,355 | 5,372 | 6,011 | 6,163 | 7,018 | 6,171 |
| stdev | 0,511 | 0,247 | 1,406 | 1,662 | 0,528 | 0,364 | 0,365 | 0,614 |

Tabel 1.2.3 Waktu dengung sawtooth diffuser untuk frekuensi 1000 dan 2000

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | | | | 2000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,56 | 5,54 | 5,951 | 5,653 | 4,934 | 4,887 | 5,74 | 5,827 |
| | 5,529 | 5,561 | 5,979 | 5,815 | 4,936 | 4,867 | 5,786 | 5,591 |
| | 5,539 | 5,558 | 5,983 | 5,651 | 4,93 | 4,842 | 5,734 | 5,738 |
| rata-rata | 5,542 | 5,553 | 5,971 | 5,706 | 4,933 | 4,865 | 5,753 | 5,718 |
| stdev | 0,015 | 0,011 | 0,017 | 0,094 | 0,003 | 0,022 | 0,028 | 0,119 |
| 30 | 6,547 | 6,419 | 6,418 | 6,201 | 5,938 | 5,153 | 5,394 | 5,523 |
| | 5,663 | 6,792 | 5,701 | 6,093 | 5,564 | 5,337 | 6,045 | 4,847 |
| | 6,461 | 6,786 | 6,973 | 5,973 | 5,095 | 5,499 | 5,624 | 5,439 |
| rata-rata | 6,223 | 6,665 | 6,364 | 6,089 | 5,532 | 5,329 | 5,687 | 5,269 |
| stdev | 0,487 | 0,213 | 0,637 | 0,114 | 0,422 | 0,173 | 0,33 | 0,368 |
| 60 | 4,728 | 6,077 | 5,521 | 5,511 | 5,56 | 5,303 | 4,926 | 5,457 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5,931 | 5,458 | 6,362 | 5,76 | 4,748 | 5,072 | 4,996 | 4,886 |
| | 5,514 | 6,151 | 6,133 | 6,4 | 4,948 | 5,773 | 5,435 | 5,586 |
| rata-rata | 5,391 | 5,895 | 6,005 | 5,89 | 5,085 | 5,382 | 5,119 | 5,309 |
| stdev | 0,61 | 0,38 | 0,434 | 0,458 | 0,423 | 0,357 | 0,275 | 0,372 |

Tabel 1.2.4 Waktu dengung sawtooth diffuser untuk frekuensi 4000

| sudut | Frekuensi | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|--------|
| | 4000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,959 | 6,395 | 9,494 | 10,127 |
| | 5,971 | 6,442 | 9,548 | 10,487 |
| | 5,935 | 6,455 | 9,236 | 10,586 |
| rata-rata | 5,955 | 6,43 | 9,426 | 10,4 |
| stdev | 0,018 | 0,031 | 0,166 | 0,241 |
| 30 | 3,969 | 4,021 | 4,093 | 4,401 |
| | 4,334 | 4,271 | 4,144 | 3,912 |
| | 4,137 | 4,101 | 3,842 | 4,605 |
| rata-rata | 4,146 | 4,131 | 4,026 | 4,306 |
| stdev | 0,182 | 0,127 | 0,161 | 0,356 |
| 60 | 4,208 | 4,071 | 4,004 | 4,171 |
| | 4,096 | 4,066 | 4,174 | 4,137 |
| | 3,948 | 3,889 | 4,301 | 4,142 |
| rata-rata | 4,084 | 4,008 | 4,159 | 4,15 |
| stdev | 0,13 | 0,103 | 0,149 | 0,018 |

Tabel 1.3.1 Waktu dengung triangle diffuser untuk frekuensi overall dan 125

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | all | | | | 125 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,713 | 5,668 | 6,01 | 5,772 | 6,791 | 5,407 | 5,42 | 4,061 |
| | 5,711 | 5,718 | 6,016 | 5,786 | 5,683 | 4,706 | 4,935 | 2,854 |
| | 5,712 | 5,694 | 6,027 | 5,669 | 8,953 | 5,045 | 4,146 | 4,133 |
| rata-rata | 5,712 | 5,693 | 6,017 | 5,742 | 7,142 | 5,052 | 4,833 | 3,682 |
| stdev | 0,001 | 0,025 | 0,008 | 0,063 | 1,663 | 0,35 | 0,643 | 0,718 |
| 30 | 5,245 | 5,193 | 5,229 | 5,248 | 5,658 | 5,021 | 6,179 | 3,735 |
| | 5,171 | 5,124 | 5,358 | 5,415 | 5,104 | 4,589 | 6,454 | 5,064 |
| | 5,266 | 5,318 | 5,179 | 5,246 | 5,531 | 4,79 | 5,013 | 5,371 |
| rata-rata | 5,227 | 5,211 | 5,255 | 5,303 | 5,431 | 4,8 | 5,882 | 4,723 |
| stdev | 0,049 | 0,098 | 0,092 | 0,097 | 0,29 | 0,216 | 0,765 | 0,869 |
| 60 | 5,316 | 5,426 | 4,853 | 5,19 | 5,344 | 4,585 | 4,79 | 4,867 |
| | 5,266 | 5,689 | 5,518 | 5,648 | 4,099 | 4,173 | 5,768 | 5,524 |
| | 5,235 | 5,403 | 3,937 | 5,705 | 7,392 | 4,454 | 3,371 | 4,006 |
| rata-rata | 5,272 | 5,506 | 4,769 | 5,514 | 5,611 | 4,404 | 4,643 | 4,799 |
| stdev | 0,04 | 0,158 | 0,793 | 0,282 | 1,662 | 0,21 | 1,205 | 0,761 |

Tabel 1.3.2 Waktu dengung triangle diffuser untuk frekuensi 250 dan 500

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 250 | | | | 500 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,372 | 5,696 | 5,766 | 5,704 | 5,865 | 5,712 | 6,018 | 5,717 |
| | 5,353 | 5,719 | 5,808 | 5,78 | 5,816 | 5,752 | 5,989 | 5,733 |
| | 5,341 | 5,609 | 5,533 | 5,789 | 5,828 | 5,689 | 6,03 | 5,686 |
| rata-rata | 5,355 | 5,674 | 5,702 | 5,757 | 5,836 | 5,717 | 6,012 | 5,712 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| stdev | 0,015 | 0,058 | 0,148 | 0,046 | 0,025 | 0,031 | 0,021 | 0,023 |
| 30 | 5,524 | 5,473 | 4,616 | 6,093 | 6,009 | 6,467 | 6,079 | 6,059 |
| | 5,243 | 4,97 | 6,836 | 6,218 | 5,903 | 6,761 | 6,212 | 6,327 |
| | 5,89 | 5,48 | 5,718 | 5,939 | 6,504 | 6,698 | 6,539 | 5,864 |
| rata-rata | 5,552 | 5,307 | 5,723 | 6,083 | 6,138 | 6,642 | 6,276 | 6,083 |
| stdev | 0,324 | 0,292 | 1,11 | 0,139 | 0,32 | 0,154 | 0,236 | 0,232 |
| 60 | 6,082 | 6,015 | 6,319 | 6,067 | 6,535 | 6,128 | 5,401 | 6,948 |
| | 6,031 | 5,357 | 5,846 | 5,595 | 7,002 | 5,475 | 5,948 | 5,27 |
| | 4,222 | 5,906 | 6,368 | 7,066 | 6,801 | 4,643 | 3,117 | 6,332 |
| rata-rata | 5,445 | 5,759 | 6,177 | 6,242 | 6,779 | 5,415 | 4,822 | 6,183 |
| stdev | 1,059 | 0,352 | 0,288 | 0,751 | 0,234 | 0,744 | 1,501 | 0,848 |

Tabel 1.3.3 Waktu dengung triangle diffuser untuk frekuensi 1000 dan 2000

| sudut | Frekuensi | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | | | | 2000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,551 | 5,56 | 5,934 | 5,705 | 4,942 | 4,87 | 5,896 | 6,536 |
| | 5,555 | 5,574 | 5,94 | 5,733 | 4,945 | 4,886 | 5,858 | 6,294 |
| | 5,553 | 5,55 | 5,982 | 5,553 | 4,942 | 4,897 | 5,783 | 4,981 |
| rata-rata | 5,553 | 5,561 | 5,952 | 5,663 | 4,943 | 4,884 | 5,845 | 5,937 |
| stdev | 0,002 | 0,012 | 0,026 | 0,096 | 0,001 | 0,013 | 0,057 | 0,836 |
| 30 | 6,69 | 5,599 | 6,128 | 6,117 | 4,89 | 5,274 | 4,915 | 5,131 |
| | 6,849 | 5,562 | 5,788 | 7,453 | 5,366 | 5,321 | 5,305 | 5,679 |
| | 7,059 | 5,962 | 5,594 | 5,726 | 4,826 | 5,03 | 5,178 | 5,524 |
| rata-rata | 6,866 | 5,707 | 5,836 | 6,432 | 5,027 | 5,208 | 5,132 | 5,444 |
| stdev | 0,185 | 0,221 | 0,27 | 0,905 | 0,295 | 0,156 | 0,198 | 0,282 |
| 60 | 6,824 | 5,923 | 5,649 | 5,477 | 5,328 | 5,498 | 6,429 | 5,051 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5,692 | 6,896 | 6,006 | 6,514 | 4,999 | 5,643 | 5,088 | 4,843 |
| | 5,203 | 6,266 | 4,392 | 6,225 | 5,11 | 5,128 | 3,517 | 4,973 |
| rata-rata | 5,906 | 6,361 | 5,349 | 6,072 | 5,145 | 5,423 | 5,011 | 4,955 |
| stdev | 0,831 | 0,493 | 0,847 | 0,535 | 0,167 | 0,265 | 1,457 | 0,105 |

Tabel 1.3.4 Waktu dengung triangle diffuser untuk frekuensi 4000

| sudut | Frekuensi | | | |
|-----------|-----------|-------|--------|--------|
| | 4000 | | | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 0 | 5,999 | 6,363 | 9,634 | 10,186 |
| | 5,985 | 6,32 | 10,011 | 10,365 |
| | 6,001 | 6,507 | 9,827 | 9,736 |
| rata-rata | 5,995 | 6,396 | 9,824 | 10,095 |
| stdev | 0,008 | 0,097 | 0,188 | 0,324 |
| 30 | 4,047 | 3,905 | 4,04 | 3,857 |
| | 4,013 | 4,405 | 4,268 | 4,202 |
| | 4,231 | 4,177 | 3,95 | 4,278 |
| rata-rata | 4,097 | 4,162 | 4,086 | 4,112 |
| stdev | 0,117 | 0,25 | 0,163 | 0,224 |
| 60 | 4,134 | 4,294 | 3,822 | 4,092 |
| | 4,255 | 3,916 | 3,95 | 4,23 |
| | 4,199 | 4,632 | 3,978 | 4,254 |
| rata-rata | 4,196 | 4,28 | 3,916 | 4,192 |
| stdev | 0,06 | 0,358 | 0,083 | 0,087 |

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN KOEFISIEN HAMBURAN

Tabel 2.1.1 Perhitungan koefisien hamburan rectangular diffuser pada sudut 0°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------------|--------|
| all | 5,732 | 5,657 | 6,014 | 5,765 | 0,143 | 0,447 | 0,354 |
| 125 | 5,728 | 5,566 | 6,003 | 5,89 | 0,316 | 0,198 | -0,171 |
| 250 | 5,391 | 5,674 | 5,697 | 5,716 | -0,575 | -0,036 | 0,342 |
| 500 | 5,838 | 5,693 | 6,028 | 5,732 | 0,271 | 0,533 | 0,359 |
| 1000 | 5,544 | 5,508 | 5,938 | 5,560 | 0,073 | 0,712 | 0,689 |
| 2000 | 4,967 | 4,853 | 6,709 | 6,716 | 0,294 | -0,009 | -0,43 |
| 4000 | 6,035 | 6,364 | 9,334 | 10,3 | -0,533 | -0,625 | -0,06 |

Tabel 2.1.2 Perhitungan koefisien hamburan rectangular diffuser pada sudut 30°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------------|--------|
| all | 5,183 | 5,361 | 5,299 | 5,34 | -0,398 | -0,09 | 0,22 |
| 125 | 5,835 | 6,343 | 5,422 | 5,458 | -0,854 | -0,075 | -0,419 |
| 250 | 6,333 | 6,764 | 6,485 | 6,065 | -0,626 | 0,664 | 0,793 |
| 500 | 6,494 | 6,592 | 6,425 | 6,069 | -0,142 | 0,568 | 0,622 |
| 1000 | 6,248 | 6,397 | 5,877 | 6,044 | -0,232 | -0,292 | -0,049 |
| 2000 | 5,345 | 5,467 | 5,337 | 5,528 | -0,259 | -0,403 | -0,113 |
| 4000 | 4,212 | 4,223 | 4,342 | 4,233 | -0,038 | 0,369 | 0,392 |

Tabel 2.1.3 Perhitungan koefisien hamburan rectangular diffuser pada sudut 60°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------------|-------|
| all | 6,261 | 6,473 | 6,044 | 5,773 | -0,325 | 0,483 | 0,61 |
| 125 | 4,405 | 4,328 | 4,69 | 4,428 | 0,251 | 0,785 | 0,713 |
| 250 | 6,873 | 7,308 | 6,855 | 6,209 | -0,539 | 0,944 | 0,964 |

| | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 500 | 5,837 | 5,851 | 5,87 | 5,467 | -0,025 | 0,781 | 0,787 |
| 1000 | 5,54 | 5,174 | 5,483 | 5,158 | 0,794 | 0,715 | -0,387 |
| 2000 | 6,359 | 5,129 | 5,44 | 5,703 | 2,347 | -0,527 | 2,133 |
| 4000 | 6,445 | 6,588 | 7,178 | 7,649 | -0,209 | -0,534 | -0,268 |

Tabel 2.2.1 Perhitungan koefisien hamburan sawtooth diffuser pada sudut 0°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|------------------------|--------|
| all | 5,711 | 5,697 | 6,016 | 5,853 | 0,026 | 0,288 | 0,268 |
| 125 | 8,134 | 4,411 | 6,746 | 3,563 | 6,459 | 8,243 | -0,326 |
| 250 | 5,376 | 5,721 | 5,632 | 5,781 | -0,698 | -0,284 | 0,243 |
| 500 | 5,859 | 5,714 | 6,034 | 5,745 | 0,269 | 0,518 | 0,341 |
| 1000 | 5,542 | 5,553 | 5,971 | 5,706 | -0,022 | 0,484 | 0,495 |
| 2000 | 4,933 | 4,865 | 5,753 | 5,718 | 0,176 | 0,066 | -0,133 |
| 4000 | 5,955 | 6,43 | 9,426 | 10,4 | -0,772 | -0,618 | 0,086 |

Tabel 2.2.2 Perhitungan koefisien hamburan sawtooth diffuser pada sudut 30°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|------------------------|--------|
| all | 5,246 | 5,277 | 5,369 | 5,337 | -0,069 | 0,069 | 0,13 |
| 125 | 6,368 | 6,544 | 6,144 | 6,15 | -0,262 | -0,009 | 0,2 |
| 250 | 6,206 | 5,927 | 6,66 | 5,65 | 0,472 | 1,67 | 2,27 |
| 500 | 5,951 | 6,28 | 6,23 | 6,473 | -0,548 | -0,375 | 0,111 |
| 1000 | 6,223 | 6,665 | 6,364 | 6,089 | -0,663 | 0,441 | 0,664 |
| 2000 | 5,532 | 5,329 | 5,687 | 5,269 | 0,428 | 0,868 | 0,769 |
| 4000 | 4,146 | 4,131 | 4,026 | 4,306 | 0,054 | -1,005 | -1,121 |

Tabel 2.2.3 Perhitungan koefisien hamburan sawtooth diffuser pada sudut 60°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|------------------------|--------|
| all | 5,239 | 5,156 | 5,116 | 5,141 | 0,191 | -0,059 | -0,309 |
| 125 | 5,264 | 4,584 | 5,764 | 4,908 | 1,754 | 1,883 | -0,171 |
| 250 | 6,567 | 5,019 | 5,355 | 5,372 | 2,923 | -0,036 | 1,538 |
| 500 | 6,011 | 6,163 | 7,018 | 6,171 | -0,255 | 1,217 | 1,173 |
| 1000 | 5,391 | 5,895 | 6,005 | 5,89 | -0,987 | 0,202 | 0,598 |
| 2000 | 5,085 | 5,382 | 5,119 | 5,309 | -0,675 | -0,435 | 0,143 |
| 4000 | 4,084 | 4,008 | 4,159 | 4,15 | 0,289 | 0,032 | -0,36 |

Tabel 2.3.1 Perhitungan koefisien hamburan triangle diffuser pada sudut 0°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | S |
|-----------|-------|-------|-------|--------|----------|------------------------|--------|
| all | 5,712 | 5,693 | 6,017 | 5,742 | 0,036 | 0,495 | 0,476 |
| 125 | 7,142 | 5,052 | 4,833 | 3,682 | 3,605 | 4,026 | -0,161 |
| 250 | 5,355 | 5,674 | 5,702 | 5,757 | -0,653 | -0,104 | 0,332 |
| 500 | 5,836 | 5,717 | 6,012 | 5,712 | 0,222 | 0,543 | 0,413 |
| 1000 | 5,553 | 5,561 | 5,952 | 5,663 | -0,016 | 0,533 | 0,541 |
| 2000 | 4,943 | 4,884 | 5,845 | 5,937 | 0,152 | -0,165 | -0,374 |
| 4000 | 5,995 | 6,396 | 9,824 | 10,095 | -0,651 | -0,17 | 0,291 |

Tabel 2.3.2 Perhitungan koefisien hamburan triangle diffuser pada sudut 30°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|------------------------|--------|
| all | 5,227 | 5,211 | 5,255 | 5,303 | 0,036 | -0,107 | -0,149 |
| 125 | 5,431 | 4,8 | 5,882 | 4,723 | 1,506 | 2,596 | -2,151 |
| 250 | 5,552 | 5,307 | 5,723 | 6,083 | 0,517 | -0,643 | -2,407 |
| 500 | 6,138 | 6,642 | 6,276 | 6,083 | -0,769 | 0,314 | 0,612 |
| 1000 | 6,866 | 5,707 | 5,836 | 6,432 | 1,841 | -0,988 | 3,363 |

| | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2000 | 5,027 | 5,208 | 5,132 | 5,444 | -0,43 | -0,695 | -0,185 |
| 4000 | 4,097 | 4,162 | 4,086 | 4,112 | -0,237 | -0,096 | 0,113 |

Tabel 2.3.3 Perhitungan koefisien hamburan triangle diffuser pada sudut 60°

| Frekuensi | T1 | T2 | T3 | T4 | α | α_{spec} | s |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------------|--------|
| all | 5,272 | 5,506 | 4,769 | 5,514 | -0,501 | -1,763 | -0,84 |
| 125 | 5,611 | 4,404 | 4,643 | 4,799 | 3,04 | -0,435 | 1,703 |
| 250 | 5,445 | 5,759 | 6,177 | 6,242 | -0,623 | -0,104 | 0,319 |
| 500 | 6,779 | 5,415 | 4,822 | 6,183 | 2,313 | -2,841 | 3,925 |
| 1000 | 5,906 | 6,361 | 5,349 | 6,072 | -0,753 | -1,385 | -0,36 |
| 2000 | 5,145 | 5,423 | 5,011 | 4,955 | -0,62 | 0,14 | 0,469 |
| 4000 | 4,196 | 4,28 | 3,916 | 4,192 | -0,291 | -1,046 | -0,585 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengukuran, perhitungan, dan analisis data pada penelitian koefisien hamburan difuser berbentuk *rectangular*, *sawtooth*, dan *triangle* dengan metode ruang dengung, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua bentuk difuser tidak dapat memberikan hamburan dengan baik pada frekuensi tinggi (2000-4000Hz), tetapi dapat meningkatkan hamburan secara signifikan pada frekuensi menengah (250-1000Hz) ketika difuser tegak lurus dengan sumber bunyi.
2. *Rectangular* diffuser memiliki sifat hamburan paling baik dibanding dengan *sawtooth* dan *triangle*, sementara *triangle* diffuser masih lebih baik daripada *sawtooth* diffuser pada sudut pengukuran 0 derajat.
3. *Rectangular* diffuser dapat menghamburkan bunyi dengan baik pada frekuensi 250-500Hz untuk semua sudut pengukuran.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, dapat diambil saran untuk penelitian selanjutnya untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih baik:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mendesign difuser dengan alas yang bersifat reflektif berbentuk melingkar untuk mengurangi efek tepi (edge effect).
2. Untuk meminimalisir koefisien hamburan bernilai negatif, disarankan memasang reflektor pada ruang dengung.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengukur waktu dengung pada ruang dengung model skala agar hasil pengukurannya lebih akurat.
4. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan bahan difusernya menutupi seluruh permukaan penyangga bahan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, N., (2014), "Pemanfaatan Serat Enceng Gondok Sebagai Penguat Materia Komposit Pengganti Serat Karbon Dalam Pembuatan Cooling Pad", *Gardan*, Vol. 1, No.1
- Alfianti, D.A., (2016), *Studi Karakteristik Pola Hamburan Panel Difuser Berbahan Baku Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa)*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Amriani, F., (2014), *Praperlakuan Fisik dan Biologi Terhadap Biomassa Eceng Gondok Untuk Produksi Enzim Selulase Oleh Aspergillus niger dan Trichoderma reesei*, Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Ardhiansyah, M.F., (2011), *Studi Awal Pengukuran Koefisien Hamburan Difuser MLS (Maximum Length Sequences) 1101000110*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Choi, Y.-J., Jeong, D.-U., (2011), "Effects of Unspecified Experimental Conditions in ISO 17497-1 on the Scattering Coefficients Measured in a Scale Model", *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 97, hal 75–81.
- Cox, T.J., D'Antonio, P., (2009), *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*, 2nd edition, Taylor & Francis, London and New York.
- D'Antonio, P., Rife, B., (2011), "The state of the art in the measurement of acoustical coefficients", *Proceedings of Meetings on Acoustics*, Vol. 12, No. 1, hal. 015008.
- Doelle, L.L., Prasetio, lea, (1985), *Akustik Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Everest, F.A., (2001), *Master Handbook of Acoustics*, 4th edition, McGraw-Hill, New York.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., (2007), *Fundamentals of Physics*, 8th edition, Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Indrawati, S., (2011), *Karakterisasi Difuser dengan Menggunakan Model Separasi Sinyal Akustik*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Jeon, J.Y., Seo, C.K., Kim, Y.H., Lee, P.J., (2012), "Wall Diffuser Designs for Acoustical Renovation of Small Performing Spaces", *Applied Acoustics*, Vol. 73, No. 8, hal. 828–835.
- Kim, J., Lee, J., Choi, Y., Jeong, D., (2012), "The Effect of an Edge on the Measured Scattering Coefficients in a Reverberation Chamber based on ISO 17497-1", *Building Acoustics*, Vol. 19, No. 1, hal 13–24.
- Kosaka, Y., Sakuma, T., (2005), "Numerical Examination on Scattering Coefficients of Architectural Surfaces Using the Boundary Element Method", *Acoustical Science and Technology*, Vol. 26, No. 2, hal. 136–144.
- Kuttruff, H., (2009), *Room Acoustics*, 5th Edition, Spon Press, London & New York.
- Kuttruff, H., (2007), *Acoustics: An Introduction*, Taylor & Francis, London and New York.

- Lee, H., Sakuma, T., (2015), "Numerical Characterization of Acoustic Scattering Coefficients of One-dimensional Periodic Surfaces", *Applied Acoustics*, Vol. 88, hal. 129–136.
- Lin, F.-M., Hong, P.-Y., Lee, C.-Y., (2010), "An Experimental Investigation into the Sound-Scattering Performance of Wooden Diffusers with Different Structures", *Applied Acoustics*, Vol. 71, No. 1, hal. 68–78.
- Lumbanbatu, K., (2008), *Pembuatan Dan Karakteristik Kertas Eceng Gondok*, Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Mediastika, C.E., (2009), *Material Akustik : Pengendali Kualitas Bunyi Pada Bangunan*, Andi, Yogyakarta.
- Mediastika, C.E., (2005), *Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia*, Erlangga, Jakarta.
- Putera, R.D.H., (2012), *Ekstraksi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) dengan Variasi Pelarut*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.
- Shen, M.-H., Lai, R.-P., Lin, F.-M., Lan, J.-N., (2011), "Investigation on Sound Scattering Performances of Wooden and Bamboo Diffusers", *Proceedings of 2011 International Conference on Multimedia Technology (ICMT)*, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, hal. 4478–4481.
- Shtrepi, L., Astolfi, A., D'Antonio, G., Vannelli, G., Barbato, G., Mauro, S., Prato, A., (2016), "Accuracy of the random-incidence scattering coefficient measurement", *Applied Acoustics*, Vol. 106, hal 23–35.
- Vorländer, M., Mommertz, E., (2000), "Definition and measurement of random-incidence scattering coefficients", *Applied Acoustics*, Vol. 60, No. 2, hal 187–199.
- Wijayanti, M., (2015), "Analisa kinerja akustik panel anyaman bambu dengan sisipan panel komposit eceng gondok", *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 11, No. 2.
- Yong Jeon, J., Chan Lee, S., Vorländer, M., (2004), "Development of scattering surfaces for concert halls", *Applied Acoustics*, Vol. 65, No. 4, hal 341–355.
- Zakri, K.W., (2015), *Pengaruh Variasi Jenis Bahan Terhadap Pola Hamburan pada Difuser MLS (Maximum Length Sequence) Dua Dimensi*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kelurahan Pijorkoling, kota Padangsidempuan, Sumatera Utara, pada tanggal 10 Juni 1990, yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 142490 Pijorkoling, SMPN 8 Pijorkoling, SMAN 8 Pijorkoling. Penulis kuliah S-1 di Jurusan Elektro, Fakultas Teknik USU pada tahun 2008 melalui jalur PMDK, bidang minat yang ditekuni adalah bidang Teknik Energi Listrik dan mendapatkan gelar sarjana teknik pada tahun 2013. Selama masa kuliah penulis aktif dalam organisasi Mahasiswa Muslim Elektro-Grup studi (MME-GS) Jurusan Elektro, Fakultas Teknik USU. Tahun 2013 penulis mendapatkan beasiswa PraS2-S2 di jurusan Fisika-FMIPA ITS. Selama masa perkuliahan di pascasarjana penulis menekuni bidang Instrumentasi akustik dengan fokus pada material difuser. Kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini dapat disampaikan kepada penulis melalui email hanafi.harahap13@mhs.physics.its.ac.id